



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Digitale Bereitstellung von intuitiv gestalteten Informationen mittels eines dynamischen Projektionssystems

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: Human Centered Cyber Physical Production  
and Assembly Systems)

**Projektass. Patrick Rupprecht, MSc MSc M.A.**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical Production  
and Assembly Systems)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Andreas Johann Kühberger, BSc**

01226161 (UE 066 482)



Wien, im November 2019

---

Andreas Johann Kühberger





TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

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, im November 2019

---

Andreas Johann Kühberger



---

# Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, insbesondere natürlich bei meiner Mama, meinem Papa und meinem Bruder, welche mir während meiner gesamten Studienzeit einen starken Rückhalt geboten haben. Ein großer und herzlicher Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium an der Technischen Universität ermöglicht haben.

Das Studium hat natürlich eine sehr große Herausforderung dargestellt und umso glücklicher bin ich, diese Herausforderung gemeinsam mit meinen Freunden Georg, Florian und Johannes bewältigt zu haben. Ich bin froh euch kennengelernt zu haben und bedanke mich für die vielen lustigen Momente, die ich in den letzten Jahren gemeinsam mit euch erleben durfte. Ich bin glücklich in euch Freunde fürs Leben gefunden zu haben!

Ein großer Dank gebührt auch meiner Freundin Lena, die mich während meines Studiums liebevoll unterstützt hat.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund und bei Projektass. Patrick Rupprecht, MSc MSc M.A., für die gute Betreuung dieser Diplomarbeit bedanken.



---

## Kurzfassung

Bei der Ausführung von Montagetätigkeiten, vor allem im Bereich von komplexen Baustellenmontagen, sind die Mitarbeiter auf Arbeitsinformationen angewiesen. Zurzeit werden diese Arbeitsinformationen zumeist in Form von Papierdokumenten oder digitalen Dokumenten auf zentralen PCs zur Verfügung gestellt. Ein neuer Lösungsansatz für eine effektivere Arbeitsinformationsbereitstellung liegt in der Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen wie Zeichen und kurzen Textanweisungen, welche mittels eines dynamischen Projektionssystems im Arbeitsbereich angezeigt werden.

Ziel der Diplomarbeit ist, eine intuitive Informationssprache für ausgewählte typische Arbeitsinformationen der Winglet-Montage zu entwickeln, die Erkennbarkeit der als dynamische Projektion bereitgestellten intuitiven Arbeitsinformationen auf einem Winglet-Werkzeug zu überprüfen und zu bestimmen, ob diese Form der Informationsbereitstellung für Unternehmen und Mitarbeiter einen Mehrwert im Vergleich zur herkömmlichen Informationsbereitstellung durch Dokumente bietet.

Eine Literaturanalyse zeigt dabei, dass für die Gestaltung der intuitiven Informationen beispielsweise die Sicherheitszeichen als Vorbild genommen werden können. Deswegen erfolgt im Zuge dieser Diplomarbeit die intuitive Gestaltung der typischen Arbeitsinformationen des vorliegenden Use Cases – der Winglet-Montage – in Anlehnung an die Sicherheitszeichen. Anschließend werden die gestalteten intuitiven Informationen mittels eines dynamischen Projektionssystems auf einem Winglet-Werkzeug bereitgestellt. Im Zuge dieser Bereitstellung am Winglet-Werkzeug wird die Erkennbarkeit und somit die Eignung der gestalteten intuitiven Arbeitsinformationen überprüft.

Nachdem sich die entworfene intuitive Sprache als geeignet für eine Bereitstellung am Winglet-Werkzeug erweist, wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt, um die Frage nach dem Mehrwert dieser neuen, modernen und intuitiven Informationsbereitstellung für Unternehmen und Mitarbeiter gegenüber der herkömmlichen Bereitstellung zu beantworten. Dabei kann im Zuge dieser Nutzwertanalyse gezeigt werden, dass die Bereitstellung von intuitiven Informationen mittels eines dynamischen Projektionssystems einen größeren Nutzen aufweist als die herkömmliche Informationsbereitstellung.



---

## Abstract

For the execution of assembly operations, employees need work instructions, especially with complex field assemblies. Currently, such instructions are mostly provided in form of paper documents or digital documents on central PCs. A new approach for a more effective provision of work instructions uses a dynamic projection system to supply intuitively designed work instructions, such as signs or short text orders, directly in the operational area.

The aim of this diploma thesis is to develop an intuitive information language for selected typical work orders in the field of winglet assembly, to check if these intuitive work orders can be identified when provided on a winglet tool using a dynamic projection system, and to determine if this form of information provision confers an advantage for companies and employees compared to conventional information provision.

An analysis of relevant literature shows that safety signs can be used as a model for the design of intuitive information. Therefore, the intuitive information of the present use case – the winglet assembly – is designed in the style of safety signs. Subsequently, the designed intuitive information is provided on a winglet tool using a dynamic projection system. In the course of this provision, the recognisability and consequently the suitability of the designed intuitive work instructions is checked.

Once the designed intuitive language has proved to be practical for the provision on a winglet tool, a utility analysis is executed to answer the question if this new, modern and intuitive information provision creates an advantage for companies and employees compared to conventional information provision. This utility analysis shows that the provision of intuitive information using a dynamic projection system offers greater benefits than conventional information provision.



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation .....	1
1.1	Allgemeine Einleitung und Problemstellung .....	1
1.2	Forschungsfragen und Ziel der Arbeit .....	3
1.3	Verwendete Methodik.....	4
1.4	Aufbau und Struktur der Arbeit .....	5
2	Industrielle Baustellenmontage .....	7
2.1	Montage .....	7
2.2	Baustellenmontage.....	8
2.3	Herkömmliche Informationsbereitstellung in der Baustellenmontage .....	9
3	Demonstrator „Winglet-Montage“ .....	12
4	Informationsassistentz durch Augmented Reality .....	15
4.1	Assistenzsysteme.....	15
4.1.1	Grundlagen Assistenzsystem.....	15
4.1.2	Informationsassistentzsystem.....	15
4.1.3	Mensch-Maschine-Interaktion.....	16
4.2	Augmented Reality (AR).....	17
5	Komponenten von AR-Systemen.....	20
5.1	Darstellung virtueller Objekte .....	20
5.1.1	3D-Rendering.....	20
5.1.2	Ausgabe.....	20
5.1.2.1	Datenbrillen .....	21
5.1.2.2	Dynamische Projektion.....	24
5.2	Tracking.....	25
5.3	Interaktion.....	26
6	Grundlagen intuitiver Informationen .....	27
6.1	Intuitive Information .....	27
6.2	Gestaltungsgrundsätze.....	27
6.2.1	Entdeckbarkeit .....	28
6.2.2	Ablenkungsfreiheit .....	28
6.2.3	Unterscheidbarkeit.....	28

6.2.4	Eindeutige Interpretierbarkeit.....	28
6.2.5	Kompaktheit.....	28
6.2.6	Konsistenz.....	29
6.3	Intuitive Informationssprache.....	29
6.3.1	Zeichen.....	29
6.3.1.1	Ikon.....	29
6.3.1.2	Index.....	30
6.3.1.3	Symbol.....	30
6.3.1.4	Piktogramm.....	30
6.3.1.5	Sicherheitshinweise durch Zeichen.....	31
6.3.1.6	Formen von Zeichen.....	32
6.3.2	Kurze Textanweisungen.....	36
6.4	Farbe.....	37
6.4.1	Wahrnehmung von Farben.....	37
6.4.2	Kontrast.....	37
6.4.3	Wirkung von Farben.....	39
6.4.4	Empfehlungen für den Gebrauch von Farbe.....	39
6.4.5	Additive Farbmischung.....	40
6.4.6	Farben der Sicherheitszeichen.....	41
7	Nutzwertanalyse.....	43
8	Auswahl und Gestaltung intuitiver Arbeitsinformationen der Winglet-Montage...47	
8.1	Auswahl und Gestaltung verbotender intuitiver Arbeitsinformationen.....	48
8.2	Auswahl und Gestaltung gebietender intuitiver Arbeitsinformationen.....	50
8.3	Auswahl und Gestaltung warnender intuitiver Arbeitsinformationen.....	53
8.4	Auswahl und Gestaltung von Brandschutzzeichen.....	55
8.5	Auswahl von Rettungszeichen.....	57
8.6	Gestaltung von kurzen Textanweisungen.....	58
8.6.1	Gestaltung einer warnenden Textanweisung.....	58
8.6.2	Gestaltung einer gebietenden Textanweisung.....	59
9	Bereitstellung der intuitiven Informationen mittels eines dynamischen Projektionssystems.....	60
9.1	Dynamisches Projektionssystem Pilotfabrik.....	60
9.2	Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen am Winglet-Werkzeug.....	64

9.2.1	Bereitstellung der verbietenden intuitiven Arbeitsinformationen .....	65
9.2.2	Bereitstellung der gebietenden intuitiven Arbeitsinformationen .....	66
9.2.3	Bereitstellung der warnenden intuitiven Arbeitsinformationen .....	68
9.2.4	Bereitstellung der Brandschutzzeichen .....	70
9.2.5	Bereitstellung der Rettungszeichen .....	71
9.2.6	Bereitstellung der kurzen Textanweisungen .....	72
10	Evaluierung der Bereitstellung der Arbeitsinformationen .....	74
11	Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen .....	93
11.1	Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Unterfrage 1 .....	93
11.2	Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Unterfrage 2 .....	93
11.3	Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Unterfrage 3 .....	94
12	Diskussion und Ausblick .....	95
12.1	Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse.....	95
12.1.1	Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse bzgl. der Gestaltung und Bereitstellung der intuitiven Informationen .....	95
12.1.2	Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse der Nutzwertanalyse ....	95
12.2	Nächste mögliche Schritte zur Weiterentwicklung.....	96
13	Literaturverzeichnis.....	97
14	Abbildungsverzeichnis .....	102
15	Formelverzeichnis.....	105
16	Tabellenverzeichnis .....	106
17	Abkürzungsverzeichnis.....	108



# 1 Einleitung und Motivation

Dieses Kapitel gibt eine kurze Einleitung in das Themengebiet und die Problemstellung dieser Diplomarbeit. Aus dieser Einleitung und der vorliegenden Problemstellung ergibt sich die Forschungsfrage dieser wissenschaftlichen Arbeit. Die Forschungsfrage wird dabei in mehrere Forschungsunterfragen gegliedert, um eine bessere Beantwortbarkeit bzw. Übersicht zu erreichen. Auch die verwendete Methodik, mit welcher die Unterfragen geklärt werden sollen, wird in diesem Kapitel vorgestellt. Schlussendlich wird ein Überblick über den Aufbau und die Struktur dieser Diplomarbeit gegeben.

## 1.1 Allgemeine Einleitung und Problemstellung

Aktuell verwenden viele Produktionsbetriebe – vor allem in der Montage von Großbauteilen in einer Baustellenmontage – Papierdokumente oder zentrale PCs, um den Werkern<sup>1</sup> Arbeitsinformationen (Arbeitspläne, Zeichnungen, Warnhinweise, etc.) bereitzustellen. Allerdings kann diese Art der Informationsbereitstellung als veraltet betrachtet werden und sie bringt viele Probleme mit sich. So geht bspw. beim Durchsuchen der Mappen nach den richtigen Informationen viel Zeit verloren, und es ist z.B. auch nicht möglich, den Mitarbeitern kontextsituativ die richtigen Informationen zur Verfügung zu stellen. Eine genaue Betrachtung der auftretenden Probleme bei dieser herkömmlichen Informationsbereitstellung in einer Baustellenmontage erfolgt in Kapitel 2.3.

Informationsträger wie Papierdokumente oder zentrale PCs werden der Forderung nach einer modernen und dynamischen Informationsbereitstellung nicht gerecht. Die Zukunft der Informationsbereitstellung liegt wohl in der Digitalisierung der Informationen. So können die Arbeitsinformationen bspw. durch Datenbrillen oder dynamische Projektion bereitgestellt werden.

Ausgangspunkt dieser Diplomarbeit bildet die Informationsbereitstellung bei der Montage von Winglets, welche in der Baustellenmontage anzusiedeln ist. Was dies genau bedeutet, wird in Kapitel 2 ausführlich erläutert. Bei einem Winglet handelt es sich um ein großes Flugzeugbauteil. Wie bei der Montage von großen Bauteilen in der industriellen Baustellenmontage üblich, erfolgt die Informationsbereitstellung auch bei der Winglet-Montage häufig via Papierdokumente oder Dokumente auf zentralen PCs.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft Arbeitsinformationen, welche typischerweise bei der Winglet-Montage bereitgestellt werden.

---

<sup>1</sup> Genderhinweis: Der Autor dieser Diplomarbeit legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.

# ARBEITSANWEISUNGEN

## ALLGEMEIN

Zum Schutz des Personals und der Werkstoffe sind weiße, fusselfreie und saubere Polypropylen-Handschuhe zu benutzen!

Während der Produktion, des Transports und der Lagerung muss sichergestellt werden, dass ausgehärtete und nicht lackierte Bauteile keiner direkten UV-Strahlung ausgesetzt werden.

Es ist darauf zu achten, dass die Schutzfolie des Prepregs vollständig entfernt wird.

Das Schneiden von Lagen ist nur per Schneidlineal oder Schere erlaubt.

Wird für das leichtere Drapieren der Lagen ein Heißluftföhn verwendet, so darf die max. Benutzungsdauer von 2 Minuten und die max. Temperatur von 65° nicht überschritten werden!

Falten bzw. Verknitterungen an den Prepregs müssen vermieden werden. Diese können beim Zuschnitt entstehen. Falls Falten oder Verknitterungen entstehen, so muss der zuständige Quality Engineer kontaktiert werden.

Auflegen der Prepregs gemäß Laserkonturen!

Seite 20 von 43

Abbildung 1: Beispiel Arbeitsanweisungen in Form eines Papierdokumentes<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich folgend mit der Bereitstellung von Arbeitsinformationen der Winglet-Montage durch dynamische Projektion. Die Arbeitsinformationen sollen direkt im Montagebereich auf das Winglet-Werkzeug oder auf umliegende Flächen projiziert werden.

## 1.2 Forschungsfragen und Ziel der Arbeit

Um Arbeitsinformationen mittels dynamischer Projektion bereitstellen zu können, ergibt sich als Erstes die Frage nach der intuitiven Gestaltung der bestehenden Informationen. Da diese nur in Form von Dokumenten vorliegen, müssen sie für eine digitale Informationsbereitstellung zuerst intuitiv aufbereitet werden, und zwar in Form von Zeichen und kurzen Textanweisungen. Erst dann können sie mithilfe von modernen digitalen Technologien angezeigt werden. Erstes Ziel der Diplomarbeit ist die intuitive Gestaltung von Arbeitsinformationen, welche typischerweise in der Winglet-Montage zu finden sind.

Danach stellt sich die Frage, ob sich das ursprüngliche Design der intuitiven Informationen für eine Projektion auf das Bauteil eignet. Erst wenn die Informationen auf das Winglet-Werkzeug projiziert werden, kann entschieden werden, ob noch Veränderungen bzgl. der Farben, des Kontrasts, etc. nötig sind.

Schlussendlich muss bewertet werden, ob die digitale Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion einen Mehrwert für Mitarbeiter und Unternehmen bringt.

Somit ergibt sich folgende Forschungsfrage:

### **Forschungsfrage:**

*Wie können typische Arbeitsinformationen der Winglet-Montage intuitiv gestaltet werden, um mittels eines dynamischen Projektionssystems am Winglet-Werkzeug bereitgestellt zu werden, und bietet diese digitale Bereitstellung der Arbeitsinformationen einen Mehrwert für Mitarbeiter und Unternehmen?*

Um die Forschungsfrage strukturiert klären zu können, wird diese in mehrere Unterfragen aufgeteilt:

### **Unterfrage 1:**

*Wie kann die intuitive Gestaltung von typischen Arbeitsinformationen der Winglet-Montage aussehen?*

**Unterfrage 2:**

*Eignen sich die intuitiven Arbeitsinformationen der Winglet-Montage, welche nach den Erkenntnissen der ersten Unterfrage gestaltet werden, um mittels eines dynamischen Projektionssystems digital am Winglet-Werkzeug bereitgestellt zu werden?*

**Unterfrage 3:**

*Bietet die digitale Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems für Mitarbeiter und Unternehmen im Vergleich zur herkömmlichen Informationsbereitstellung einen Mehrwert?*

Großes Ziel der Diplomarbeit ist also, eine intuitive Informationssprache bzgl. Arbeitsinformationen in der Winglet-Montage zu entwerfen. Diese intuitive Sprache muss sich für eine Bereitstellung am Winglet-Werkzeug eignen. Anschließend wird geprüft, ob diese Form der Informationsbereitstellung überhaupt einen Mehrwert für Mitarbeiter und Unternehmen bietet.

## 1.3 Verwendete Methodik

**Unterfrage 1:**

*Wie kann die intuitive Gestaltung von typischen Arbeitsinformationen der Winglet-Montage aussehen?*

Die erste Unterfrage soll durch eine Literaturanalyse beantwortet werden. Die Arbeitsanweisungen werden basierend auf den Erkenntnissen der Literaturanalyse intuitiv gestaltet.

**Unterfrage 2:**

*Eignen sich die intuitiven Arbeitsinformationen der Winglet-Montage, welche nach den Erkenntnissen der ersten Unterfrage gestaltet werden, um mittels eines dynamischen Projektionssystems digital am Winglet-Werkzeug bereitgestellt zu werden?*

Um die Frage nach der Eignung der entwickelten intuitiven Informationssprache zu beantworten, werden Versuche am Demonstrator „Winglet-Montage“ in der Pilotfabrik Industrie 4.0 durchgeführt. Die gestalteten intuitiven Informationen werden mittels eines dynamischen Projektionssystems direkt auf das Winglet-Werkzeug der Pilotfabrik projiziert, womit Aussagen über die Erkennbarkeit – und somit über die Eignung – getroffen werden können.

**Unterfrage 3:**

*Bietet die digitale Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems für Mitarbeiter und Unternehmen im Vergleich zur herkömmlichen Informationsbereitstellung einen Mehrwert?*

Die dritte Unterfrage wird mit Hilfe einer Evaluierung beantwortet, welche die ursprüngliche Informationsbereitstellung mittels Dokumenten und die Informationsbereitstellung mittels intuitiver Informationen, welche als dynamische Projektion bereitgestellt werden, bewertet und vergleicht. Im Zuge dieser Evaluierung wird eine sog. Nutzwertanalyse durchgeführt, um Aussagen bzgl. des Mehrwerts treffen zu können.

## **1.4 Aufbau und Struktur der Arbeit**

Im ersten Teil dieser Diplomarbeit (Kapitel 1 bis 7) erfolgt eine allgemeine Einleitung und theoretische Grundlagen werden erläutert. Diese Grundlagen betreffen die vorliegende Themenstellung und werden zur Beantwortung der Forschungsfragen benötigt. Außerdem wird die Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien sowie der Use Case der Winglet-Montage vorgestellt.

Im zweiten Teil dieser Diplomarbeit (Kapitel 8 bis 10) werden die Erkenntnisse aus dem ersten Teil der Arbeit genutzt, um eine intuitive Informationssprache bzgl. des Use Cases der Winglet-Montage zu gestalten. Ein weiteres Kapitel dieses Teiles der Diplomarbeit betrifft die praktische Bereitstellung der zuvor gestalteten intuitiven Arbeitsinformationen. Dazu wird zuerst der Aufbau des dynamischen Projektionssystems in der Pilotfabrik erklärt und anschließend beschäftigt sich die Diplomarbeit mit den am Winglet-Werkzeug bereitgestellten intuitiven Arbeitsinformationen. Zu guter Letzt wird in diesem Teil im Zuge einer Evaluierung eine Nutzwertanalyse durchgeführt.

Im letzten Teil dieser wissenschaftlichen Arbeit (Kapitel 11 bis Kapitel 12) werden die Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen zusammengefasst. Abschließend wird eine Diskussion über die Ansätze und Ergebnisse der Diplomarbeit geführt sowie ein Ausblick gegeben.

Am Ende dieser Diplomarbeit finden sich ein Literaturverzeichnis, ein Abbildungsverzeichnis, ein Formelverzeichnis, ein Tabellenverzeichnis sowie ein Abkürzungsverzeichnis.

Folgende Abbildung soll einen Überblick über den Aufbau und die Struktur der vorliegenden Diplomarbeit geben.

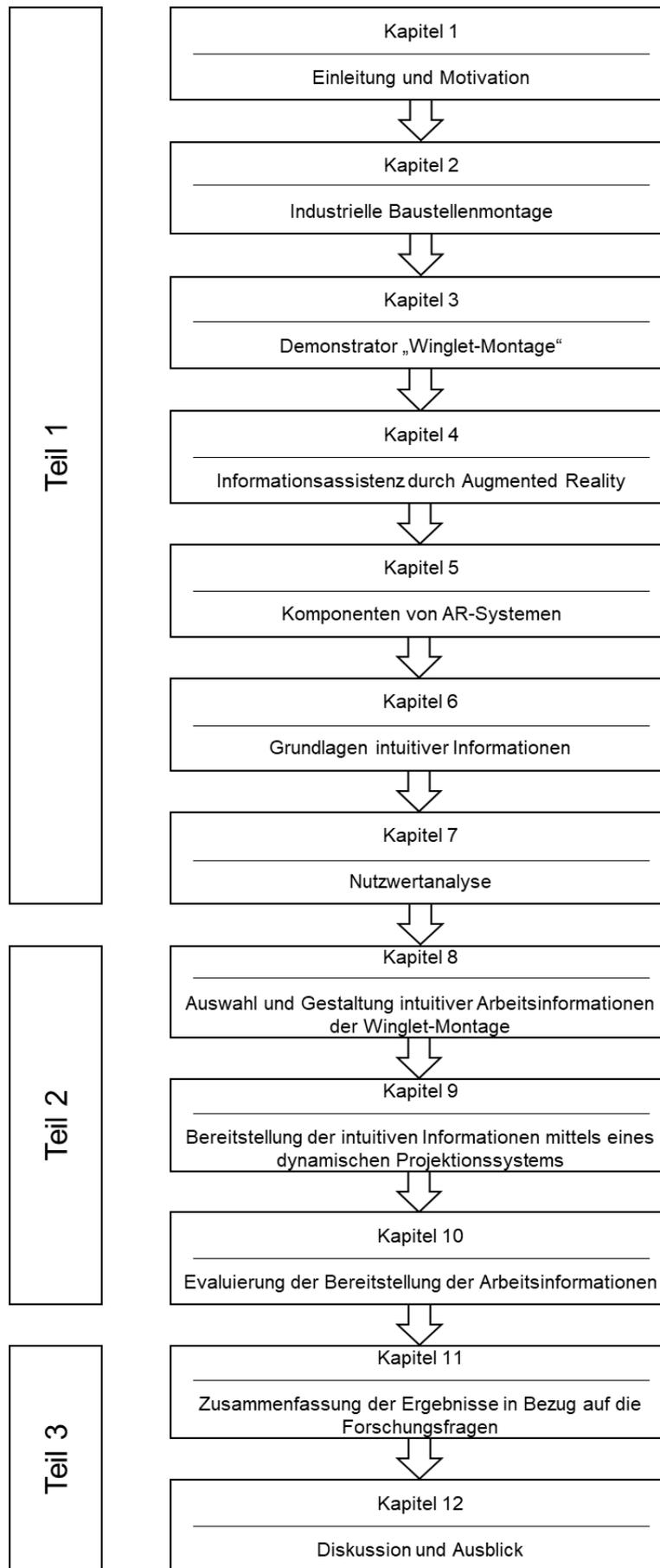


Abbildung 2: Aufbau und Struktur der Diplomarbeit

## 2 Industrielle Baustellenmontage

In diesem Kapitel soll der Begriff der *Montage* erläutert werden. Darauf aufbauend wird der Begriff der *Baustellenmontage* erklärt. Schlussendlich wird auf die aktuelle Ist-Situation bzgl. der Informationsbereitstellung in der industriellen Baustellenmontage eingegangen und es werden die daraus folgenden Probleme beschrieben.

### 2.1 Montage

Industriell hergestellte Produkte bestehen meistens aus vielen Einzelteilen, welche zu verschiedenen Zeitpunkten mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt wurden. Aufgabe der Montage ist es, aus dieser Vielzahl von Teilen ein Produkt höherer Komplexität mit vorgegebener Funktion zusammenzubauen, und zwar in einer vorgegebenen Zeit (Warnecke, Löhr & Kiener, 1975, S. 11). Die *industrielle Montage* konzentriert sich auf den Zusammenbau von industriell hergestellten Produkten. Wird dieses Zusammenbauen ausschließlich oder überwiegend von menschlichen Arbeitskräften manuell ausgeführt, spricht man von manueller Montage (Bornewasser, Bläsing & Hinrichsen, 2018, S. 265). Neben der manuellen Montage gibt es auch eine halbautomatische (hybride) oder automatische Montage (Lotter, 2012a, S. 3).

Um aus den Einzelteilen ein Produkt höherer Komplexität zusammenzubauen, werden verschiedenste Tätigkeiten durchgeführt. Diese Tätigkeiten kann man nach Lotter (2012a, S. 2) in die sog. Funktionen der Montage einteilen:

- 1) Fügen
- 2) Handhaben
- 3) Kontrollieren
- 4) Justieren
- 5) Sonderoperationen

Abbildung 3 zeigt für jede Funktion der Montage eine genaue Auflistung der verschiedenen Tätigkeiten.

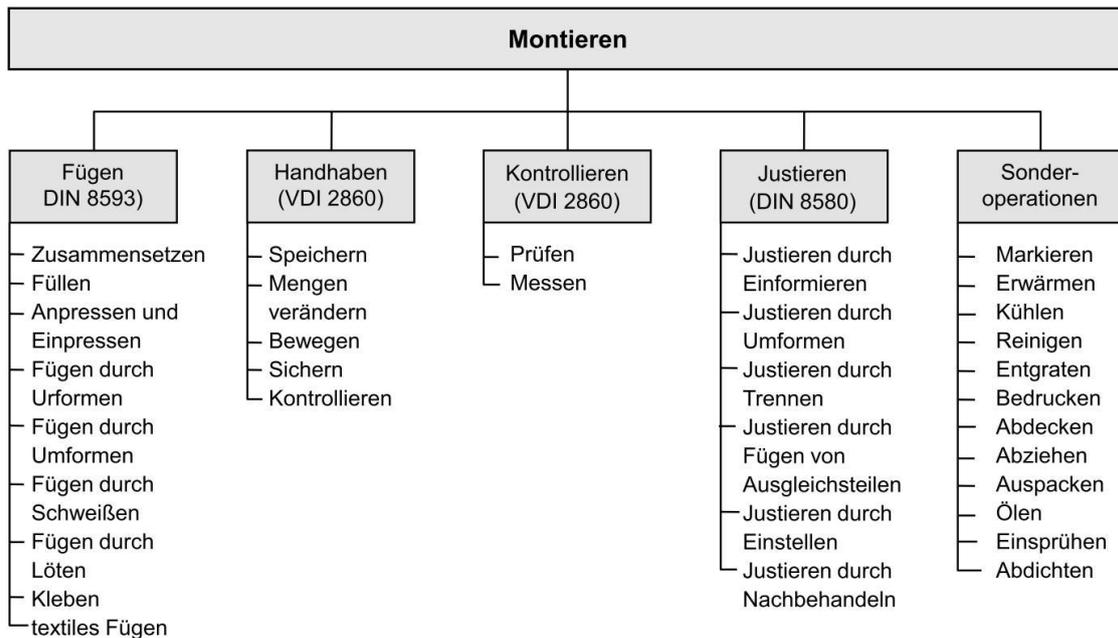


Abbildung 3: Funktionen der Montage (Lotter, 2012a, S. 2)

## 2.2 Baustellenmontage

Montagesysteme können auf unterschiedliche Weisen organisiert und strukturiert werden. Je nach Montageaufgaben und geplantem Produktionsprogramm kann ein Montagesystem passend strukturiert werden (Richter, 2006, S. 101). Die wesentlichen Strukturformen sind (Richter, 2006, S. 101):

- 1) Linienmontage
- 2) Montageinsel
- 3) Einzelplatzmontage
- 4) Baustellenmontage

Im Folgenden soll die Baustellenmontage genauer erläutert werden.

Die Baustellenmontage kennzeichnet sich dadurch, dass das Produkt an einem festen Ort montiert wird. Dabei werden alle Einzelteile und Baugruppen an diesem Ort bereitgestellt und die Mitarbeiter sind in wechselnder Einsatzstärke an diesem Ort tätig (Richter, 2006, S. 104). Dabei bringen die Mitarbeiter die möglichst universell und mobil ausgelegten Montagebetriebsmittel an den Montageort (Richter, 2006, S. 104). Meistens sind es großräumige, komplexe Produkte mit hohen Montageumfängen, welche nach dem Prinzip der Baustellenmontage montiert werden. Außerdem sind die Produkte oft speziell für den Kunden individuell ausgelegt und werden in dieser Ausführung oft nur einmal produziert (Richter, 2006, S. 104). Der Werker muss bei dieser Form der Montagestruktur ein hohes und umfassendes Produktverständnis aufweisen. Zusätzlich werden die Montageplanung und die Montagesteuerung meist

nur grob durchgeführt und das Material auftragsbezogen kommissioniert (Richter, 2006, S. 104). Da viele Einzelteile und/ oder vormontierte Baugruppen bereitgestellt werden müssen und das Bauteil auch von allen Seiten zugänglich sein muss, hat die Baustellenmontage einen hohen Platzbedarf (Lotter, 2012b, S. 148).

Nach Richter (2006, S. 104) und Sih, Sunk, Nemeth, Kulang & Matyas (2016, S. 44) weist die Baustellenmontage folgende Vor- und Nachteile auf:

Baustellenmontage	
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Flexibilitätseigenschaften (insbes. bzgl. des Mitarbeiterereinsatzes)</li> <li>• Geringer Planungs- und Steuerungsaufwand</li> <li>• Geeignet für großvolumige Produkte</li> <li>• Geeignet für komplexe Montageaufgaben</li> <li>• Produkt muss nicht transportiert werden</li> <li>• Keine Beschädigung des Produkts durch Transport</li> <li>• Gute Anpassungsfähigkeit bei Störungen oder Änderungen</li> <li>• Reihenfolge der Arbeitsgänge in der Regel leicht änderbar</li> <li>• Hohe Verwendungsvielfalt der Betriebsmittel bei Universalität des Maschinenparks</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Platzbedarf</li> <li>• Lange Durchlaufzeiten</li> <li>• Aufwändiger Materialfluss</li> <li>• Lange Einarbeitungszeiten für die Mitarbeiter</li> <li>• Hoher Transportaufwand, da alle Produktionsmittel auf die Baustelle transportiert werden müssen</li> <li>• Hoher Transportaufwand für das Fertigprodukt (wenn es transportiert werden muss)</li> <li>• Hoher Steuerungsaufwand</li> <li>• Schlechte Betriebsmittelauslastung</li> </ul>

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Baustellenmontage

## 2.3 Herkömmliche Informationsbereitstellung in der Baustellenmontage

Bis heute wird der Großteil der Arbeitsinformationen in der manuellen Montage in Form von Papierdokumenten oder zentralen PCs zur Verfügung gestellt (Günthner & Wölfle, 2011, S. 46; Westkämper, 2013, S. 132). Selbst am PC (oder an anderen Bildschirmen) werden die Informationen meistens in Form von Formularen bereitgestellt (Westkämper, 2013, S. 132).

Allerdings kann diese Form der Informationsbereitstellung viele Probleme mit sich bringen:

- Papierdokumente sind mühsam zu handhaben (Franke & Risch, 2009, S. 822). Die Mitarbeiter müssen in den Mappen blättern, um die richtigen Informationen zu finden. Neben langen Suchzeiten, um die richtigen Informationen zu finden,

ist es auch problematisch, dass die Werker beim Suchen der Informationen die Hände nicht frei haben (Günthner & Wölfle, 2011, S. 47). So können nicht gleichzeitig Informationen aufgenommen und Montage Tätigkeiten durchgeführt werden.

- Auch das Hinwenden zum PC oder zu den Dokumenten, welche in der Nähe des Montageortes liegen, ist als unnötige Körperbewegung zu sehen. Falls die Dokumente oder der PC zentral stationiert sind, müssen weite Wege zurückgelegt werden (Günthner & Wölfle, 2011, S. 1).
- Es kann keine kontextbezogene Information bereitgestellt werden (zum richtigen Zeitpunkt die richtige Information).
- Oft befinden sich zu viele Informationen in den Mappen, sodass nur ein Teil der angebotenen Informationen sinnvoll verwertet werden kann (Franke & Risch, 2009, S. 822). Ein Überangebot an Informationen führt zu einer hohen kognitiven Belastung der Werker. Dies kann zu Verwechslungen, Fehlinterpretationen oder einer Ablehnung bzw. Nichtbeachtung der Anweisungen führen (Franke & Risch, 2009, S. 822).
- Es werden zu viele unnötige Informationen über den Bedarf hinaus bereitgestellt (Risch, Berndt & Franke, 2011, S. 707).
- Es werden redundante, veraltete oder fehlerhafte Dokumente verwendet. Es kann auch nicht garantiert werden, dass alte Dokumente (welche eigentlich schon entfernt worden sind) nicht noch vorherrschen und von den Mitarbeitern benutzt werden.
- Die Dokumente sind aufwendig zu ändern (Franke & Risch, 2009, S. 822) und die schnelle Vermittlung von Warnungen oder Produktänderungen ist nicht möglich (Franke & Risch, 2009, S. 823).
- Die Dokumente sind oft in unübersichtlicher Form vorhanden. Der Inhalt der Dokumente kann schwer lesbar oder interpretierbar sein.
- Papierdokumente sind aufwändig und teuer zu erstellen. Es fallen hohe Druck- und Verteilkosten an (Franke & Risch, 2009, S. 822). Mit einer alternativen Informationsbereitstellung könnte Papier eingespart und die Umwelt geschont werden.
- Die Dokumente können verschwinden (Franke & Risch, 2009, S. 822).

Wie in Kapitel 2.2 erwähnt, sind die Produkte, welche im Zuge einer Baustellenmontage zusammengebaut werden, oft sehr komplex und kundenindividuell ausgelegt. Außerdem werden sie in der vorliegenden Ausführung oft nur einmal produziert, d.h. die Mitarbeiter können keine Routine entwickeln. Auch zu erwähnen ist, dass bei Baustellenmontagen meist ein hoher Montageumfang zu tätigen ist. Zusammenfassend kann man sagen, dass an Baustellenmontagen die Komplexität um einiges höher ist, als dies bspw. bei einer taktgebundenen Fließmontage der Fall wäre. Laut Bornewasser et al. (2018, S. 269) laufen sehr komplexe Prozesse in der Montage nach einem eher variablen Programm ab, es gibt hier nicht nur eine, sondern viele mögliche Muster, aus denen gewählt werden muss. Die Werker müssen also viele Entscheidungen treffen und sind ständig mit dem mentalen Prozess des Auswählens von vorgegebenen Alternativen beschäftigt (Bornewasser et al., 2018, S. 269).

Aus diesen Gründen ist eine moderne, digitale und situativ angepasste Informationsbereitstellung notwendig. Die Mitarbeiter in einer Baustellenmontage brauchen ständig Informationen über den komplexen Montagevorgang. Gerade weil die Werker so häufig auf die Informationen angewiesen sind, fallen die oben genannten Probleme, welche papierbasierte Dokumente oder zentrale PCs mit sich bringen, verstärkt ins Gewicht.

### 3 Demonstrator „Winglet-Montage“

Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie betreibt die TU Wien die Pilotfabrik Industrie 4.0 in Wien-Aspern. Dort arbeiten mehrere Forschungsbereiche an der Zukunft der Produktion, Logistik, Montage und Fertigungstechnik.<sup>3</sup>

Der Forschungsbereich *Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems* entwickelt dabei speziell Demonstratoren für den Bereich individualisierbarer Montagesysteme. Als Demonstrator für eine industriellen Baustellenmontage dient ein Winglet-Werkzeug.<sup>4</sup>



Abbildung 4: Winglet-Werkzeug in der Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien<sup>5</sup>

Ein Winglet ist ein Bauteil, das an den Spitzen der Tragflächen eines Flugzeuges angebracht werden kann, um den durch Randwirbel entstehenden induzierten

<sup>3</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien  
[https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie\\_40\\_pilotfabrik\\_demonstratoren/](https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie_40_pilotfabrik_demonstratoren/) [zugegriffen am: 18.08.2019]

<sup>4</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien,  
[https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie\\_40\\_pilotfabrik\\_demonstratoren/](https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie_40_pilotfabrik_demonstratoren/) [zugegriffen am: 18.08.2019]

<sup>5</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien,  
[https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie\\_40\\_pilotfabrik\\_demonstratoren/](https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie_40_pilotfabrik_demonstratoren/) [zugegriffen am: 18.08.2019]

Widerstand zu verringern, womit der Kraftstoffverbrauch verringert werden kann (Klußmann & Malik, 2018, S. 706).

Bei einem Winglet handelt es sich um ein Composite-Bauteil, d.h. das Bauteil besteht aus einem Verbundwerkstoff. Nach Wolff-Fabris (2015, S. 3) können alle Werkstoffe, welche zwei oder mehrere Stoffe beinhalten, als Verbundwerkstoffe bezeichnet werden. Ein Faserverbundwerkstoff besteht aus einer zu verstärkenden kontinuierlichen Phase, der Matrix, und den Fasern, welche in die Matrix eingebettet sind und somit die mechanischen Eigenschaften der Matrix erhöhen (Wolff-Fabris, 2015, S. 3). Die Fasern können dabei als eine Art Skelett betrachtet werden, welche die Außenkräfte tragen, die Matrix hingegen verteilt diese Kräfte und hält die Fasern zusammen (Wolff-Fabris, 2015, S. 3). Im vorliegenden Fall des Winglets werden sog. Prepregs verwendet. Unter einem Prepreg versteht man ein Halbzeug, welches aus einer hochviskosen Matrix und endlosen Verstärkungsfasern besteht (Wolff-Fabris, Lengsfeld & Krämer, 2015, S. 13). Um die Prepregs herzustellen, wird das Fasermaterial mit der Matrix getränkt, woraus ein vorimprägniertes Halbzeug – das Prepreg – entsteht (Wolff-Fabris et al., 2015, S. 13). Geliefert werden die Prepregs meist zwischen einer Polyethylen-Folie und einem Silikonpapier (Wolff-Fabris et al., 2015, S. 13).

Für die Herstellung des Winglets werden die Prepregs (im vorliegenden Fall werden CFK-Matten verwendet) lagenweise in einer bestimmten Sequenz mit definierter Richtung und Kontur auf einer Vorrichtung – dem Winglet-Werkzeug – aufgebracht (Lengsfeld & Lacalle, 2015, S. 47). Dieses Auflegen wird als Layup bezeichnet. Davor müssen die Prepregs entsprechend zugeschnitten werden (Lengsfeld & Lacalle, 2015, S. 50–55).

Ein Art, wie die Lagen auf das Winglet-Werkzeug gelegt werden können, ist das Handlaminieren (Lengsfeld & Lacalle, 2015, S. 55). Dabei werden die Prepreg-Zuschnitte von Hand nach einem exakt vorgegebenen Lageplan am Winglet-Werkzeug aufeinander abgelegt, festgewalzt und miteinander verklebt (Lengsfeld & Lacalle, 2015, S. 55).

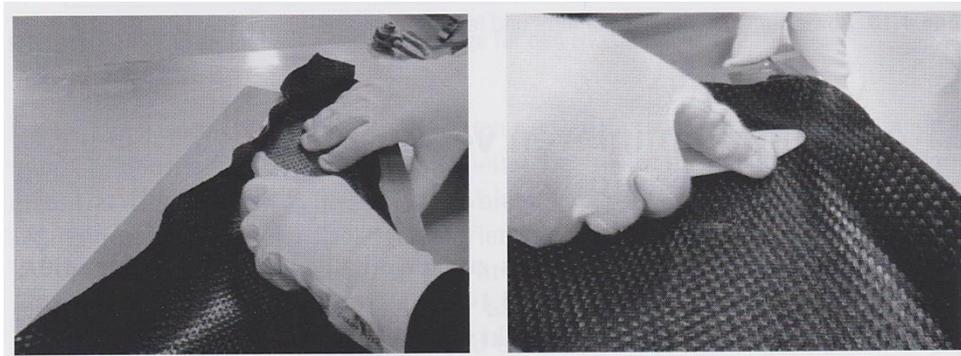
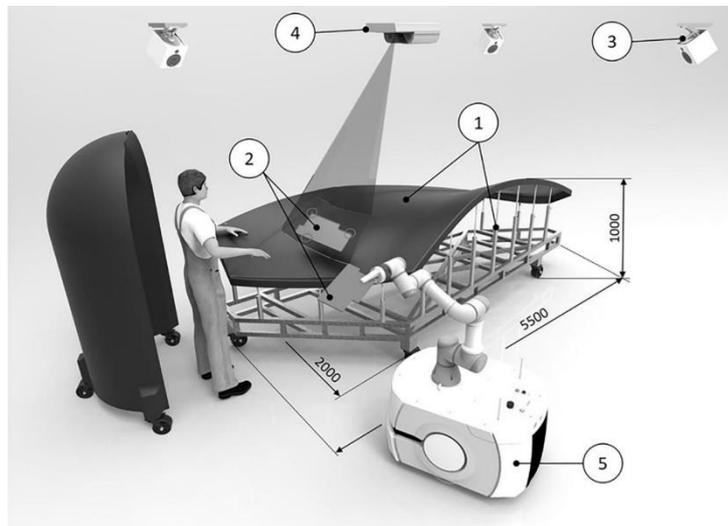


Abbildung 5: Hand-Layup (Lengsfeld & Lacalle, 2015, S. 56)

Nach dem Layup sind weitere Bearbeitungsschritte nötig, um das fertige Winglet zu erhalten.

In der Pilotfabrik Industrie 4.0 ist das formgebende Winglet-Werkzeug aufgestellt, um Forschungen im Bereich der Winglet-Montage durchzuführen. Ziel des Forschungsbereiches ist es, einen menschenzentrierten, individualisierbaren und ergonomischen Arbeitsplatz demonstrativ aufzubauen. Dafür soll etwa die Arbeitsplatzhöhe individuell einstellbar sein. Auch Fragestellungen zu Klima und Akustik sollen geklärt werden. Außerdem soll der Arbeitsraum mit 3D-Kameras erfasst werden, um mit intelligenten Projektionen kontextsituativ Informationen bereitzustellen.<sup>6</sup>

Abbildung 6 soll den schemenhaften Aufbau des Demonstrators zeigen bzw. wie der Aufbau zukünftig aussehen soll.



**Abbildung 6: Schemenhafter Aufbau Demonstrator Winglet-Montage (Schlund, Mayrhofer & Rupprecht, 2018, S. 284)**

Folgende Komponenten sind Teil des Demonstrators, siehe Nummerierung in Abbildung 6 (Schlund et al., 2018, S. 284):

- 1) Bauteil auf höhenverstellbaren Hydraulikzylindern
- 2) CFK-Matten und deren Konturen durch Projektion dargestellt
- 3) 3D-Kameras
- 4) Projektor
- 5) Fahrerloses Transportsystem mit Roboterarm

<sup>6</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien, [https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie\\_40\\_pilotfabrik\\_demonstratoren/](https://www.imw.tuwien.ac.at/cps/industrie_40_pilotfabrik_demonstratoren/) [zugegriffen am: 18.08.2019]

## 4 Informationsassistentenz durch Augmented Reality

Wie auch schon in den vorherigen Kapiteln beschrieben, liegt die Zukunft der Informationsbereitstellung wohl in der Digitalisierung der Informationen. Wenn die Arbeitsinformationen digital abgebildet werden, so ist es möglich, diese mittels intelligenten Assistenzsystemen anzeigen zu lassen, im Idealfall genau dann, wenn die jeweiligen Informationen benötigt werden. Deshalb sollen in diesem Kapitel der Begriff des *Assistenzsystems* eingeführt und einige Erläuterungen angeführt werden. Des Weiteren wird erklärt, worum es sich bei *Augmented Reality* handelt.

### 4.1 Assistenzsysteme

#### 4.1.1 Grundlagen Assistenzsystem

Das Wort *Assistenz* bedeutet so viel wie *Beistand* oder *Mithilfe*.<sup>7</sup> Laut Gerke (2014, S. 2) versteht man unter einem Assistenzsystem ein technisches System, welches meist von einem Rechner gesteuert wird und den Menschen bei einer Tätigkeit unterstützen soll, dem Menschen also eine Hilfestellung gibt. Durch diese Hilfestellung ermöglichen Assistenzsysteme den Beschäftigten, dass sie sich auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren können (Bischoff et al., 2015, S. 90). Unter einem System versteht man die Gesamtheit von Objekten, welche sich in einem ganzheitlichen Zusammenhang befinden und durch Wechselbeziehungen untereinander von ihrer Umwelt abzugrenzen sind (Gerke, 2014, S. 2). Ein Assistenzsystem besteht aus elektronischen, informationstechnischen und/oder mechanischen Komponenten. Diese Komponenten stehen dabei im Sinne des Systems mit der Umwelt in Wechselbeziehung (Gerke, 2014, S. 2).

Nach Wulfsberg (2017) und Schlund et al. (2018, S. 280) können Assistenzsysteme den Menschen auf folgende Arten unterstützen:

- Physisch (Kraftumleitung, Krafteinleitung, Verbesserung der Ergonomie, etc.)
- Kognitiv (Arbeitsanweisungen, Überwachung der Belastung, etc.)
- Organisatorisch (Überwachung von Arbeitsreihenfolgen und Prozessen, etc.)
- Kommunikativ (Kontakterleichterung, Kommunikationsfluss, Teamarbeit, etc.)

#### 4.1.2 Informationsassistentenzsystem

Informatorische Assistenzsysteme sollen den Mitarbeiter bei komplexen Aufgaben unterstützen, da dieser auf eine Vielzahl von Informationen angewiesen ist. Diese Komplexität kann z.B. aufgrund einer hohen Variantenvielfalt in einem

<sup>7</sup> Quelle: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Assistenz> [zugegriffen am: 24.07.2019]

Montageprozess entstehen (Bornewasser et al., 2018, S. 265). Das informatorische Assistenzsystem stellt dem Mitarbeiter die Arbeitsinformationen zur Verfügung, im Idealfall die benötigten Informationen zum richtigen Zeitpunkt. Durch diese Informationsassistent soll der Werker die große Menge an Arbeitsinformationen gut verarbeiten können und die mentale Beanspruchung gering gehalten werden (Bornewasser et al., 2018, S. 265). Bei der Art der Unterstützung des Assistenzsystems handelt es sich also um eine kognitive Entlastung.

Informatorische Montageassistenzsysteme eignen sich natürlich auch besonders bei Baustellenmontagen, da bei diesen meist sehr komplexe Montageprozesse mit einem sehr hohen Informationsbedarf zu bewältigen sind (siehe Kapitel 2.2 bzw. 2.3).

### 4.1.3 Mensch-Maschine-Interaktion

Unter einem sog. *Mensch-Maschine-System* versteht man das Zusammenwirken eines Menschen mit einem technischen System (Maschine), wobei der Mensch zielgerichtet mit der Maschine zusammenarbeiten soll, um bestimmte Arbeitsergebnisse bestmöglich zu erreichen (Langmann, 2017, S. 422). Bei einer solchen Maschine kann es sich bspw. um ein Assistenzsystem handeln. Das Assistenzsystem kann auch in die Maschine integriert sein, welche vom Menschen bedient wird. Wie in Kapitel 4.1.1 erwähnt, besteht ein Assistenzsystem aus elektronischen, informationstechnischen und/oder mechanischen Komponenten, welche mit der Umwelt in Wechselbeziehung stehen (Gerke, 2014, S. 2). So nehmen Assistenzsysteme mit Hilfe von Sensoren Informationen der Umgebung auf und beurteilen dadurch die vorherrschende Situation in der Umgebung objektiv (Gerke, 2014, S. 3). Solche Umgebungsinformationen können bspw. Anweisungen von einem Menschen sein. Als Reaktion auf die wahrgenommene Situation kann das Assistenzsystem Aktionen tätigen, wie z.B. eine Information in den Arbeitsbereich des Werkers projizieren. Bei einer solchen Zusammenarbeit zwischen einem Assistenzsystem und einem Menschen wird häufig von *Mensch-Maschine-Interaktion* gesprochen. Es ist wichtig, dass die Informationen der Sensoren richtig interpretiert werden. Aufgrund von Störungen, die wegen des Wetters oder der Beschaffenheit der zu erkennenden Objekte entstehen können, ist es möglich, dass die Sensorinformationen falsch oder gar nicht interpretiert werden (Gerke, 2014, S. 3).

Die Kommunikation zwischen dem Menschen und dem Assistenzsystem erfolgt über eine sog. *Mensch-Maschine-Schnittstelle* (Gerke, 2014, S. 8) und kann unter Benutzung verschiedenster Sinneskanäle realisiert werden (Gerke, 2014, S. 4). Eine Projektion in den Arbeitsbereich wird vom Menschen bspw. visuell verarbeitet. Damit der Mensch mit dem Assistenzsystem kommunizieren kann, werden sog. Interaktionsgeräte benötigt, welche dem Assistenzsystem als Sensoren Informationen

liefern. Bei einem Interaktionsgerät kann es sich bspw. um einen Touchscreen handeln oder um eine Kamera, welche die Gesten des Benutzers erkennt (Gerke, 2014, S. 4).

Für die Informationseingabe (Assistenzsystem nimmt Informationen vom Menschen auf) und die Informationsausgabe (Mensch nimmt Informationen vom Assistenzsystem auf) kann also das ganze Spektrum der sensorischen Modalitäten genutzt werden.

Tabelle 2 stellt eine Übersicht über die sensorischen Modalitäten dar.

Wahrnehmungssystem	Organ	Empfindung
Visuell	Auge	Farbe, Helligkeit
Auditiv	Innenohr	Tonhöhe, Lautstärke
Taktil	Haut	Druck, Berührung, Vibration
Vestibulär	Vestibulärapparat (Mittelohr)	Linear- und Winkelbeschleunigung
Olfaktorisch	Schleimhaut (Nasenraum)	Geruch
Gustatorisch	Zungenoberfläche	Geschmack
Kinästhetisch	Muskelspindel	Stellung der Körperteile
Thermisch	Haut	Temperatur
Schmerzwahrnehmung	Alle freien Nervenenden	Schmerz

Tabelle 2: Übersicht über die sensorischen Modalitäten (Landau, 2007, S. 1304)

Bspw. kann die Informationseingabe optisch durch Erkennen der Bewegungsarten des Menschen, verbal durch Sprechen oder kinästhetisch durch Erkennen der Gesten des Menschen erfolgen.

Wie bereits erwähnt, nutzen Assistenzsysteme diverse Sensoren, um Informationen der Umgebung aufzunehmen. Tabelle 3 soll zeigen, welche Sensoren dabei verwendet werden können und welcher Sinneskanal dabei technisch abgebildet wird.

Mensch	Sinn	Organ	Sensorik	Erfassen von
Hören	Gehör	Ohr	Mikrofon	Schall
Sehen	Licht	Auge	Fotozelle Kamera	Licht, Konturen Szenen
Fühlen	Temperatur Schwere Kraft Tastsinn	Haut Muskel Nerven	Thermometer Waage Dehnmessstreifen Fühler, Schalter	Wärme Masse Kraft, Drehmoment Form, Lage
Riechen	Geruch	Nase	Rauchmelder	Rauch, Gase
Schmecken	Geschmack	Zunge/ Gaumen	Künstliche Zunge	Inhaltsstoffe

Tabelle 3: Wahrnehmungsvermögen von Mensch und Maschine (Hesse & Schnell, 2014, S. 2)

## 4.2 Augmented Reality (AR)

Bei der sog. *Augmented Reality* (zu Deutsch: *Erweiterte Realität*) werden virtuelle Objekte mit der realen Welt überlagert, indem die virtuellen Objekte in der realen Welt

eingblendet werden (Azuma, 1997, S. 356). D.h. die AR ergänzt die reale Welt, ersetzt diese aber nicht (Azuma, 1997, S. 356).

Laut Azuma (1997, S. 356) weist AR definitionsgemäß folgende drei Charakteristika auf:

- 1) AR kombiniert die reale und die virtuelle Welt.
- 2) AR ist interaktiv in Echtzeit.
- 3) Die virtuellen Objekte werden in drei Dimensionen (geometrisch) registriert. Unter der (geometrischen) Registrierung versteht man laut Broll (2013, S. 243) die Verankerung oder das korrekte Einpassen der künstlichen virtuellen Inhalte in die Realität.

Diese Definition inkludiert folglich keine Filme, da diese nicht in Echtzeit interaktiv sind. Auch zweidimensionale Überlagerungen sind nicht als AR zu bezeichnen (auch wenn es sich um Live-Überlagerungen in zwei Dimensionen handeln sollte) (Azuma, 1997, S. 356).

Allerdings beschränkt man sich im populärwissenschaftlichen Umfeld laut Broll (2013, S. 245) häufig lediglich auf den ersten Aspekt, nämlich die Erweiterung der Realität um virtuelle Inhalte. Die Interaktivität, Echtzeitfähigkeit und dreidimensionale Registrierung werden oft nicht beachtet. Auch im Zuge dieser Diplomarbeit soll sich die AR lediglich auf die Erweiterung der Realität um virtuelle Objekte beschränken.

Abbildung 7 soll ein Beispiel einer Augmentierten Realität zeigen. Im linken Teil des Bildes sieht man die reale Umgebung und im rechten Teil das virtuelle Objekt. Beide Teile werden zur AR überlagert (in der Mitte des Bildes).



**Abbildung 7: Verschmelzung einer realen Umgebung mit einem virtuellen Objekt zur AR (Broll, 2013, S. 242)**

Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino (1995, S. 283) haben ein Kontinuum zwischen Realität und Virtualität definiert (siehe Abbildung 8).

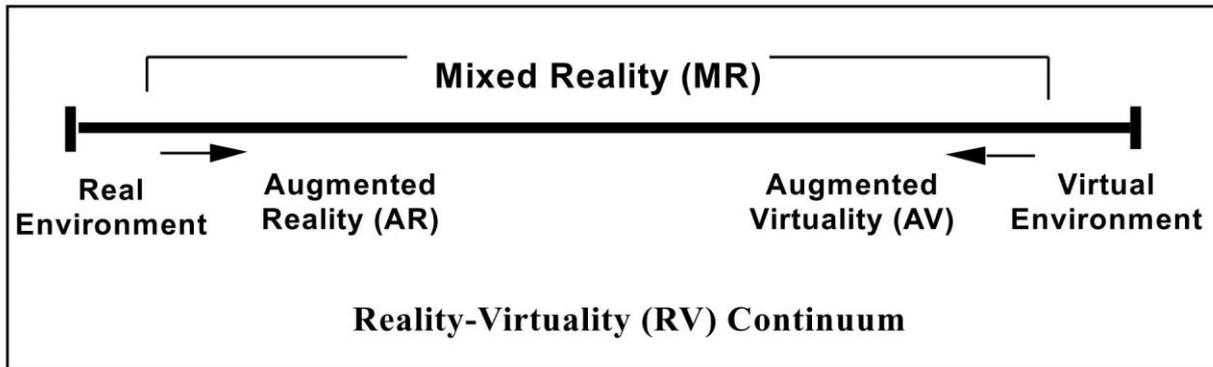


Abbildung 8: Reality-Virtuality (RV) Continuum (Milgram et al., 1995, S. 283)

Auf der einen Seite befindet sich die *reale Umgebung* (*Real Environment*) und auf der anderen Seite die *virtuelle Umgebung* (*Virtual Environment*). Dazwischen herrscht eine *gemischte Realität* (*Mixed Reality*) vor. AR befindet sich im Bereich der *Mixed Reality*, ist aber näher bei der realen Umgebung als bei der virtuellen Umgebung, da der Mensch hauptsächlich die reale Umgebung wahrnimmt und diese lediglich durch vereinzelte virtuelle Objekte ergänzt wird.

Mithilfe des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums kann Augmented Reality von *Virtual Reality* (VR) abgegrenzt werden. VR befindet sich in der Skala weiter rechts als AR und kann in den Bereich der *Augmented Virtuality* eingeordnet werden. Bei VR nimmt der Benutzer die reale Umwelt nicht mehr wahr, sondern taucht z.B. mithilfe einer VR-Brille komplett in eine virtuelle Welt ein.

AR kann als Hilfsmittel für den Menschen verwendet werden, indem durch Überlagerung des realen Bildes mit benötigten Informationen eine Unterstützung generiert wird (Jost, Kirks, Mättig, Sinsel & Trapp, 2017, S. 158). So kann also AR als Informationsassistent eingesetzt werden. Aktuell können einige verschiedene Arten von Assistenzsystemen genannt werden, mit denen eine solche informatorische Assistenz realisiert werden kann. So gibt es bspw. Tablet- und Smartphone-Anwendungen, in denen die Kamera des Gerätes ein Livebild erzeugt, in das die Zusatzinformationen eingeblendet werden (Jost et al., 2017, S. 158). Auch mithilfe von diversen AR-Brillen und Projektionssystemen können virtuelle Informationen in der realen Welt eingeblendet werden. Insbesondere die durch Projektion erzeugte *Erweiterte Realität* ist aufgrund der vorliegenden Forschungsfrage für diese Diplomarbeit besonders interessant.

## 5 Komponenten von AR-Systemen

Im vorherigen Kapitel wurde geklärt, worum es sich bei einem Assistenzsystem und bei Augmented Reality handelt. Auch erste Beispiele von Assistenzsystemen wurden genannt, welche durch Einblendung von virtuellen Informationen den Menschen unterstützen. Bei solchen Assistenzsystemen bzw. AR-Systemen handelt es sich um technisch sehr komplexe Systeme. Die Anzeige der Informationen ist lediglich ein Aspekt, ein AR-System besteht aus vielen verschiedenen Komponenten. Dieses Kapitel soll einen groben Überblick über die Komponenten geben, die für die Realisierung von AR-Systemen benötigt werden. Dabei wird natürlich ein großes Augenmerk auf die möglichen Ausgabeformen gelegt, da dies schließlich festlegt, in welcher Form der Mitarbeiter in einem Unternehmen die Informationen zugespielt bekommt. Dabei konzentriert sich diese Diplomarbeit auf die Ausgabe via Datenbrillen und natürlich via (dynamischer) Projektion.

Tönnis (2010, S. 4) hat die Komponenten eines AR-Systems in folgende drei Bereiche eingeteilt:

- 1) Darstellung
- 2) Tracking
- 3) Interaktion

Folgend sollen diese drei Bereiche grob beschrieben werden.

### 5.1 Darstellung virtueller Objekte

#### 5.1.1 3D-Rendering

Nach Dörner, Jung, Grimm, Broll & Göbel (2013, S. 23) versteht man unter *Rendering* das Umwandeln des Modells der virtuellen Welt im Computer zu Sinnesreizen, um dem Nutzer des AR-Systems die virtuelle Welt darzustellen. Aus den Rohdaten des Modells wird bspw. eine 3D-Grafik erzeugt, welche in weiterer Folge durch eine Hardware bereitgestellt werden kann. Das Erzeugen einer 3D-Grafik ausgehend aus den Rohdaten des Modells wird als *3D-Rendering* bezeichnet.

#### 5.1.2 Ausgabe

Sind die Sinnesreize zur Darstellung der virtuellen Welt erzeugt, so müssen sie dem Benutzer mittels einer geeigneten Hardware zur Verfügung gestellt werden. Damit z.B. virtuellen Grafiken in die reale Umgebung eingeblendet werden, können bspw.

Handheld-Geräte (Smartphones, Tablets), diverse Datenbrillen/ AR-Brillen sowie (dynamische) Projektionssysteme verwendet werden.

### 5.1.2.1 Datenbrillen

Obwohl diese Diplomarbeit eine Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion anstrebt, wird in diesem kurzen Abschnitt auf das Themengebiet der *Datenbrillen* eingegangen, da diese zurzeit einen großen Hype erfahren. Im Zuge dessen werden die zurzeit noch existierenden Nachteile von Datenbrillen erwähnt. Diese Nachteile betreffen vor allem die Ergonomie der Brillen.

Der Begriff *Datenbrille* soll im Zuge dieser Diplomarbeit synonym mit den Begriffen *Smart Glasses* (zu Deutsch: *intelligente Brille*) und *AR-Brille* verwendet werden. Datenbrillen fallen unter die Kategorie der *Wearables*, da es sich bei solchen Brillen um am Körper getragene Computer handelt. Außerdem können solche Brillen in die Kategorie der sog. *Head-Mounted Displays* (HMD) eingeordnet werden, weil sie am Kopf befestigte Anzeigen bzw. auf dem Kopf zu tragende visuelle Ausgabegeräte sind.

Diese Diplomarbeit geht lediglich auf sog. *Optische See-Through-Displays* (*optische Durchsichtdatenbrillen*) ein. Solche Optische See-Through-Displays ermöglichen das Einblenden von virtuellen Objekten in das Gesichtsfeld des Benutzers (Broll, 2013, S. 273–274) und ermöglichen somit AR und MR. Die Sicht auf die Realität ist dabei immer direkt und unmittelbar, die virtuellen Objekte werden lediglich optisch überlagert. So kommt es bzgl. der Qualität und Auflösung beim Betrachten der realen Umgebung zu keinen Einschränkungen (Broll, 2013, S. 274).

Es können verschiedenste Bauarten von Optischen See-Through-Displays unterschieden werden (Broll, 2013, S. 274). Beispielhaft soll hier die Bauart mit semi-transparenten Spiegeln vorgestellt werden, damit der Leser eine Vorstellung für einen möglichen Aufbau einer solchen Datenbrille bekommt. Außerdem handelt es sich bei dieser Bauart laut Broll (2013, S. 274) um die bevorzugte Bauart.

Folgend sei die Funktionsweise einer Optischen See-Through-Displays nach Broll (2013, S. 274) erklärt und in Abbildung 9 dargestellt.

Die virtuellen Inhalte werden auf einem Display (z.B. einem LCD-Display) mithilfe einer Optik so dargestellt, dass sich das menschliche Auge darauf fokussieren kann. Dann wird das vom Display ausgehende Licht mit dem Umgebungslicht über zwei semi-transparente Spiegel überlagert. Ein Teil des Lichtes wird von den Spiegeln reflektiert und der andere Teil kann passieren. Somit trifft sowohl ein Teil des Umgebungslichtes als auch ein Teil des Lichtes des Displays am Auge auf. Der Mensch nimmt die Umgebung und das virtuelle Objekt überlagert wahr. Durch die Teildurchlässigkeit der Spiegel wird sowohl das Licht des Displays als auch das Umgebungslicht abgedunkelt, bevor es auf dem Auge auftreffen kann.

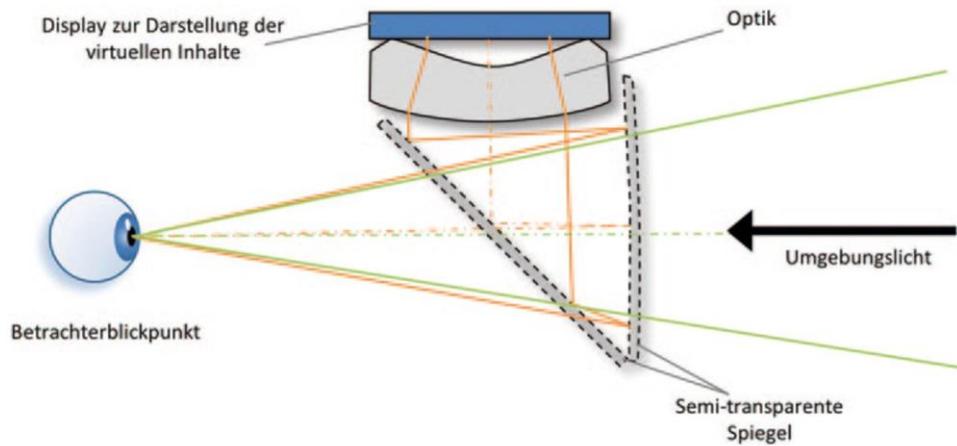


Abbildung 9: Funktionsweise Optischer See-Through-Displays mit semi-transparenten Spiegeln (Broll, 2013, S. 275)

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass bei Optischen See-Through-Displays nur eine rein additive optische Überlagerung stattfindet. Der Benutzer sieht die reale Umgebung und es werden virtuelle Objekte hinzugefügt. Teile der Realität können nicht vollständig ausgeblendet werden und eine subtraktive Veränderung kann ebenfalls nicht durchgeführt werden (Broll, 2013, S. 275).

Problematisch ist, dass beim Tragen von AR-Brillen das Sichtfeld verengt wird (Broll, 2013, S. 278). Als Beispiel soll ein Optisches See-Through-Display mit geschlossener Bauweise betrachtet werden. Bei einer geschlossenen Bauweise ist das Gesichtsfeld des Betrachters auf das Sichtfeld der Datenbrille beschränkt (Broll, 2013, S. 278).

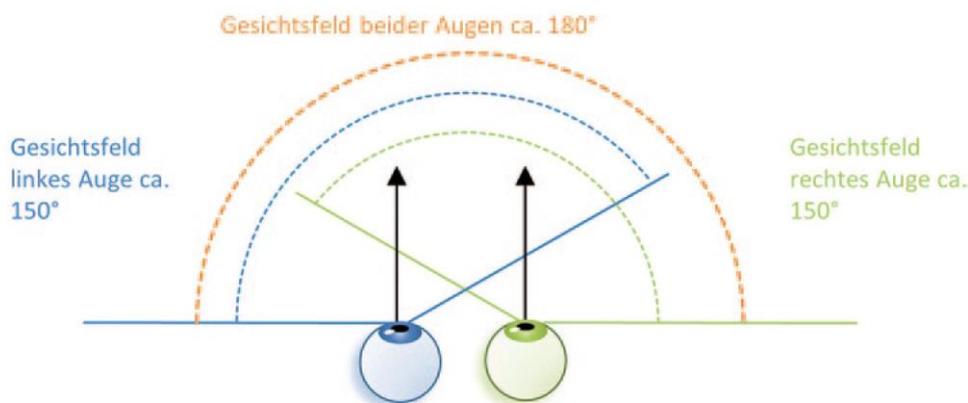


Abbildung 10: Uneingeschränktes Sichtfeld ohne Datenbrille (Broll, 2013, S. 278)

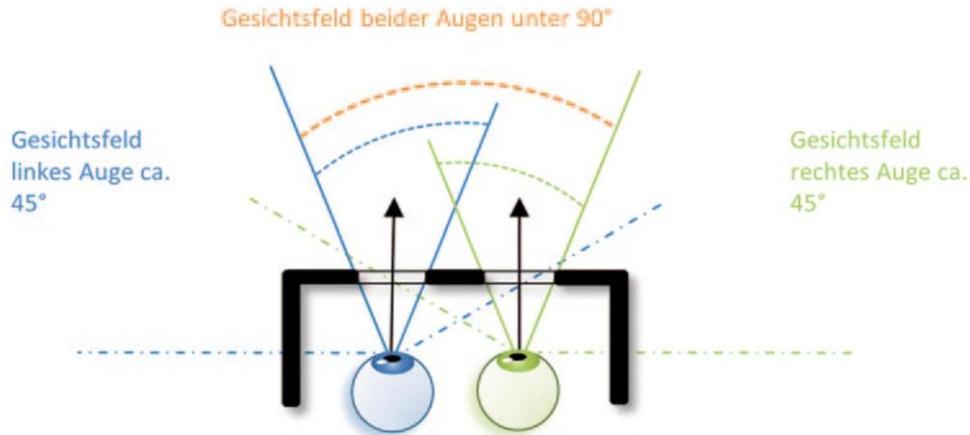


Abbildung 11: Sichteinschränkung bei einer geschlossenen Bauweise (Broll, 2013, S. 278)

Wie Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen, wird durch ein Optisches See-Through-Display mit geschlossener Bauweise das Sichtfeld von ca. 180° auf ein Sichtfeld mit ca. 90° verengt.

Natürlich kann diese Sichteinschränkung durch Wahl einer anderen Bauweise verringert werden, allerdings kann diese nicht gänzlich verhindert werden. Durch diese Sichteinschränkung kann der Benutzer nur einen Teil seiner Umgebung wahrnehmen, wodurch ein Tunnelblick entstehen kann, welcher natürlich vor allem in ungeschützten Bereichen problematisch ist (Broll, 2013, S. 279). Der Benutzer kann eventuelle Gefahren oder andere Objekte erst später wahrnehmen.

Klose, Eis, Hegenberg & Schmidt (2018, S. 10) haben Untersuchungen zu Datenbrillen als Reiseassistenzsysteme durchgeführt (Informationen werden z.B. an Verkehrsknotenpunkten, etc. eingeblendet). Dabei haben Tester von diversen Datenbrillen auch den geringen Tragekomfort bemängelt – vor allem für Brillenträger.

Des Weiteren können Datenbrillen umständlich zu handhaben sein. Damit die Brille richtig sitzt, kann es vorkommen, dass der Mitarbeiter den Arbeitsprozess abbricht und die Brille mit seinen Händen richtet. Beim Anziehen und Abnehmen der Brille geht ebenfalls Zeit verloren. Generell kann es als störend empfunden werden, ständig technisches Equipment am Körper zu tragen. Die Brille kann zu Transpiration und Hautirritationen führen. Im Falle von Datenbrillen mit einem etwas höheren Gewicht kann das ständige Tragen der Brille auch zu ungünstigen Haltungen und muskulären Verspannungen führen.

Zu guter Letzt soll auch das Problem der *Kinetose* (auch *Simulatorkrankheit*, *VR-Krankheit* oder *Virtual Motion Sickness* genannt) erwähnt werden. Wird dem visuellen System eine Bewegung vorgetäuscht, die der vestibulären Information nicht exakt entspricht, so kann dies zu Übelkeit, erhöhtem Speichelfluss, Benommenheit, Schwindelgefühlen und sogar zu Erbrechen führen (Dörner & Steinicke, 2013, S. 56).

Um die Kinetose zu vermeiden, müssen die Sinneseindrücke – vor allem die Beschleunigungskräfte – und die visuell erlebten Bewegungen möglichst exakt aufeinander abgestimmt werden (Schöner & Morys, 2015, S. 146). Natürlich ist diese Krankheit vor allem ein Problem bei VR, da hier im Vergleich zu AR der Grad der Immersion höher ist. Je höher der Grad der Immersion, desto weiter rechts befindet man sich auf der Skala des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums (siehe Abbildung 8).

Viele der genannten Probleme von Datenbrillen können durch eine Arbeitsinformationsbereitstellung durch dynamische Projektion vermieden werden.

### 5.1.2.2 Dynamische Projektion

Bei der projektionsbasierten AR werden die virtuellen Inhalte auf Gegenstände der realen Umgebung projiziert (Broll, 2013, S. 249). Die virtuellen Inhalte werden mithilfe eines Projektors auf die Oberflächen der Umgebung projiziert (Broll, 2013, S. 281). Abbildung 12 soll dieses Prinzip visualisieren. Es wird kein technisches Equipment benötigt, welches direkt am Körper getragen werden muss, um diese Form der AR zu realisieren.

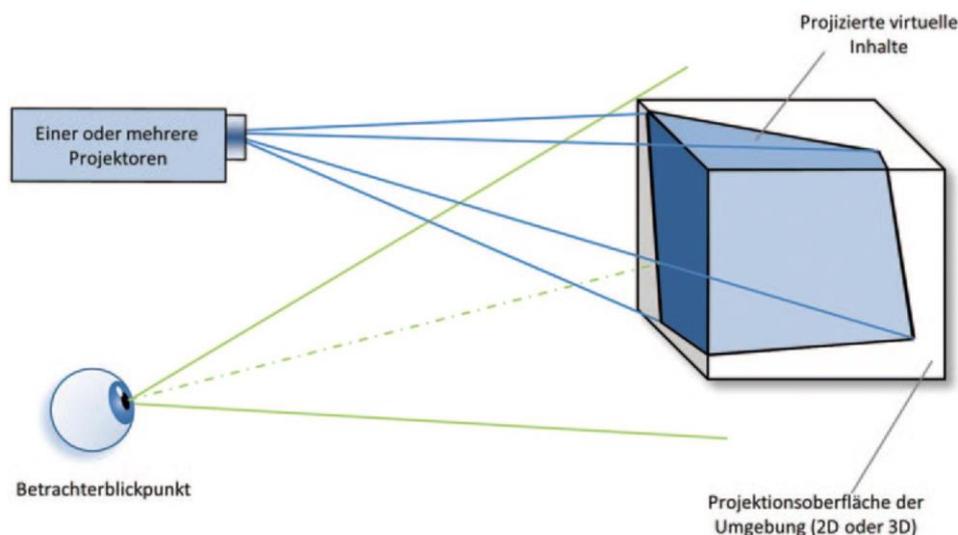


Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines projektionsbasierten AR-Systems (Broll, 2013, S. 282)

Diese Diplomarbeit hat zum Ziel, die Arbeitsinformationsbereitstellung durch eine dynamische Projektion zu realisieren. Dabei muss die dynamische Projektion von der statischen Projektion unterschieden werden. Bei der statischen Projektion kann der virtuelle Inhalt lediglich auf eine Stelle projiziert werden, da der Projektor nicht beweglich ist bzw. kein System vorhanden ist, um die Projektion im Raum zu bewegen. Im Gegensatz dazu ist es bei der dynamischen Projektion möglich, den virtuellen Inhalt auf eine nahezu beliebige Stelle in der Umgebung des Projektors zu projizieren. Dies kann durch einen Spiegelkopf realisiert werden, welcher am Projektor befestigt wird.

Der Spiegel des Spiegelkopfes ist dabei beweglich und spiegelt die Projektion an eine beliebig ausgewählte Stelle. So ist es theoretisch auch möglich, die Arbeitsinformationen kontextsituativ an die richtige Stelle zu projizieren.

Bei einer Projektion können die virtuellen Inhalte nicht frei im Raum platziert werden, sie können eben lediglich auf bestehenden Oberflächen projiziert werden (Broll, 2013, S. 281). Damit die virtuellen Objekte korrekt auf der gewünschten Oberfläche angezeigt werden, müssen die Position und die Orientierung der Projektoren im Verhältnis zur Projektionsfläche bekannt sein. Außerdem muss ein Modell der Gegenstände, auf welche projiziert werden soll, vorliegen. Sind diese Gegenstände beweglich, so muss ihre Lage bestimmt werden (Broll, 2013, S. 281).

Es gibt aber auch noch eine andere Variante, wie die Projektion korrekt am Gegenstand angebracht werden kann. Die Tiefeninformationen der Projektionsflächen können mit strukturiertem Licht (Muster wie Streifen oder Gitter werden verwendet) beschaffen werden. Hierfür können Tiefenkameras am Projektor angebracht werden, welche teilweise mit strukturiertem Licht arbeiten (Broll, 2013, S. 281–282).

Da die Projektionsflächen meist nicht ideal weiße und matte Flächen sind, ist bei der Projektion die photometrische Kalibrierung sehr wichtig. Variationen, die durch die Struktur, Reflexionseigenschaften und Farbe der Oberfläche sowie durch die Umgebung (Helligkeit, Schatten, Glanzlichter, etc.) entstehen, müssen durch die Kalibrierung ausgeglichen werden (Broll, 2013, S. 282). Natürlich gibt es dabei Grenzen für den Ausgleich, die von der Leistungsfähigkeit des Projektors, der Oberfläche und dem virtuellen Objekt, das auf die Fläche projiziert werden soll, bestimmt werden (Broll, 2013, S. 282).

## 5.2 Tracking

Des Weiteren ist es wichtig, dass die Lage des Benutzers, die Lage wichtiger Gegenstände in der Umgebung und/ oder der Ort, an dem die virtuellen Objekte erscheinen sollen, bekannt sind. Unter *Tracking* versteht man den Prozess der Bestimmung der Lage (Tönnis, 2010, S. 43).

Nach Tönnis (2010, S. 44) gibt es viele unterschiedliche Möglichkeiten, um Tracking durchzuführen, wobei die Verfahren auf unterschiedlichen physikalischen Gegebenheiten beruhen. Tönnis (2010, S. 44–58) listet folgende Verfahren auf:

- 1) Optisches Tracking
  - Markertracking
  - Markerloses Tracking
- 2) Inertialtracking
- 3) Magnetisches Tracking

- 4) Laufzeitbasiertes Tracking
- 5) Mechanisches Tracking

Es kann zwischen *Inside-Out Tracking* und *Outside-In Tracking* unterschieden werden (Tönnis, 2010, S. 58). Bei *Inside-Out Tracking* (GPS, Markertrackingsysteme, Inertialsysteme) ermittelt das bewegte Objekt die Trackingdaten selbst, die Umgebung wird nur für die Erlangung dieser Daten benutzt (Tönnis, 2010, S. 59). Bei *Outside-In* Systemen hat das Objekt, dessen Lage bestimmt werden soll, keine Kenntnis über seine Pose. Das aktive System (z.B. ein Kamerasystem) ist im Raum aufgebaut und ermittelt die Trackingdaten des passiven Objekts, des Markers (Tönnis, 2010, S. 59).

Am Demonstrator „Winglet-Montage“ in der Pilotfabrik Industrie 4.0 wird versucht das Tracking durch ein Kamerasystem mit Trackingalgorithmen, bzw. 3D-Time-of-Flight-Kameras und Punktwolken zu realisieren.

Wenn die Lagen der Objekte bestimmt sind, müssen verschiedenste Koordinatensysteme aufeinander abgestimmt werden, damit das virtuelle Objekt korrekt auf das getrackte Objekt angezeigt wird. Diesen Prozess bezeichnet man als *Registrierung* (Tönnis, 2010, S. 60).

### 5.3 Interaktion

Als letzter Bestandteil von AR-Systemen wird nun die Interaktion betrachtet. Damit der Mensch mit einem AR-Assistenzsystem interagieren kann, muss der Mensch mit der Maschine kommunizieren können. Falls der Mitarbeiter bspw. eine bestimmte Geste macht oder seinen Standort ändert, so soll sich die Projektion ändern oder an einem anderen Ort angezeigt werden.

Wie in Kapitel 4.1.2 erwähnt, besitzen Mensch-Maschine-Systeme eine Schnittstelle, damit der Mensch mit der Maschine kommunizieren kann. Außerdem wurde erklärt, dass für die Eingabe in das Assistenzsystem das gesamte Spektrum der sensorischen Modalitäten genutzt werden kann. Tönnis (2010, S. 100–105) nennt als Beispiele das *Motion-Capturing* (Bewegungen des Körpers oder einzelner Körperteile werden verwendet), die Eingabe mit einem bestimmten Blick und die Spracheingabe.

Beim Demonstrator „Winglet-Montage“ in der Pilotfabrik Industrie 4.0 wird versucht, die Schnittstelle für die Informationseingabe in das dynamische Projektionssystem durch Bilderkennung mittels Kameras zu realisieren.

## 6 Grundlagen intuitiver Informationen

Dieses Kapitel soll die Grundlagen für die Gestaltung von intuitiven Informationen geben. Dabei sollen zuerst die Begriffe der *Information* und der *intuitiven* Information diskutiert werden. Anschließend werden Grundsätze für die Gestaltung von Informationen aufgelistet. Außerdem werden verschiedenste Grundlagen einer intuitiven Informationssprache durchleuchtet und auch auf die Thematik der farblichen Gestaltung von intuitiven Informationen eingegangen.

### 6.1 Intuitive Information

Grundsätzlich soll durch eine Information Wissen weitergegeben werden. Dies kann über verschiedenste Informationskanäle erfolgen, wobei wieder die sensorischen Modalitäten bedient werden können (siehe Tabelle 2). Dieses Wissen kann unterschiedlich genutzt werden, bspw. kann dadurch ein zuvor unbekannter Arbeitsschritt durchgeführt werden.

Im Zuge dieser Arbeit soll *intuitiv* gestaltete Arbeitsinformation bzgl. der Winglet-Montage durch dynamische Projektion auf das Winglet-Werkzeug weitergegeben werden. Intuitiv bedeutet dabei so viel wie „unmittelbar verständlich“. Durch einen Blick auf die intuitive Arbeitsinformation soll der Mitarbeiter ohne Probleme rasch erkennen, was zu tun ist. Ohne große kognitive Anstrengung kann der benötigte Arbeitsschritt ausgeführt werden, das zeitaufwendige und mühsame Suchen, Blättern und Lesen in den Dokumenten soll entfallen.

### 6.2 Gestaltungsgrundsätze

Bei der Gestaltung von Information sollten gewisse Grundsätze beachtet werden, damit eine möglichst ergonomische Darstellung gewährleistet wird. Auch psychologische Aspekte finden dabei Beachtung. Durch ergonomisch gestaltete Arbeitsinformationen soll eine leichte kognitive Verarbeitung ermöglicht werden und die mentale Beanspruchung soll gering gehalten werden (Schlick, Bruder & Luczak, 2018, S. 430).

Diese Gestaltungsgrundsätze werden in diesem Abschnitt beschrieben, wobei die DIN EN ISO 9241-112 (2017, S. 15–28) als Vorlage dient. Wenn diese Regeln eingehalten werden, so können laut DIN EN ISO 9241-112 (2017, S. 14) Gebrauchstauglichkeitsprobleme vermieden werden. Für eine genauere Beschreibung der Gestaltungsgrundsätze mit Beispielen sei auf die DIN EN ISO 9241-112 (2017, S. 15–28) verwiesen.

### **6.2.1 Entdeckbarkeit**

Informationen müssen so dargestellt werden, dass sie vom Betrachter auch als solche erkannt werden können, also entdeckt werden können. Dafür sollten sie die Aufmerksamkeit des Betrachters erregen. Außerdem ist eine angemessene zeitliche Darstellung der Informationen zu planen, also bspw. das Tempo der Darstellung oder der logische Ablauf der Darstellung.

### **6.2.2 Ablenkungsfreiheit**

Ablenkungsfreiheit bedeutet, dass die erforderlichen Informationen so dargestellt sind, dass andere nebenstehende Informationen nicht ablenken. Etwa können Ereignisse oder eine Informationsüberflutung zu einer Ablenkung führen. Aufgabenbezogene Informationen sollen sich von unwichtigen Hintergrundinformationen abheben. Generell sollten unnötige Hintergründe vermieden werden.

### **6.2.3 Unterscheidbarkeit**

Informationen von unterschiedlichen eigenständigen Elementen oder Gruppen von Elementen müssen unterschieden, bzw. müssen die Informationen den jeweiligen Elementen oder Gruppen von Elementen zugewiesen werden können. Die Unterscheidbarkeit kann durch eine angemessene Strukturierung der Informationen und eine logische Verwendung von Darstellungsattributen unterstützt werden.

### **6.2.4 Eindeutige Interpretierbarkeit**

Werden dargestellte Informationen so verstanden wie vorgesehen, so sind sie eindeutig interpretierbar. Dabei sollten die Informationen verständlich sein und eine eindeutige Bedeutung besitzen. Außerdem sollten die Regeln für den angemessenen Gebrauch von Vervollständigung und Empfehlungen in Bezug auf den Textzusammenhang beachtet (siehe DIN EN ISO 9241-112 (2017, S. 23–24)), auf eine geeignete Auswahl der Medien bzw. Interaktionskanäle geachtet und auf die Fähigkeiten des Benutzers Rücksicht genommen werden. Bei Informationen, die in Textform dargestellt sind, sollen Überschriften, kurze Sätze sowie ein der jeweiligen Sprache angepasster Satzbau verwendet werden.

### **6.2.5 Kompaktheit**

Eine kompakte Informationsdarstellung bedeutet, dass nur die notwendigen Informationen dargestellt werden. So sollten bspw. nicht unterstützende, überflüssige oder redundante Informationen vermieden und die kognitive Komplexität minimiert werden. Idealerweise ist es möglich, dass die Informationsmenge an die unterschiedlichen Anwender angepasst wird.

## 6.2.6 Konsistenz

Informationen sind konsistent, falls in allen interaktiven Systemen und der gesamten Benutzerumgebung die Informationselemente mit einem ähnlichen Zweck ähnlich dargestellt werden und Elemente mit unterschiedlichem Zweck mit unterschiedlichem Stil und unterschiedlicher Form dargestellt werden. So sollte etwa die Terminologie im gesamten interaktiven System einheitlich verwendet werden.

## 6.3 Intuitive Informationssprache

### 6.3.1 Zeichen

Zeichen können nach Bühler, Schlaich & Sinner (2017, S. 3) in drei Kategorien eingeteilt werden (siehe Abbildung 13):

- 1) Ikone
- 2) Index
- 3) Symbole

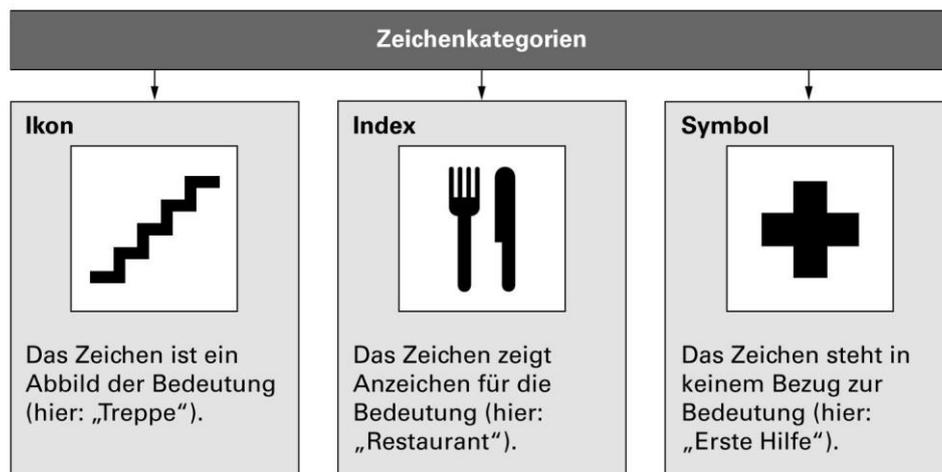


Abbildung 13: Zeichenkategorien (Bühler et al., 2017, S. 3)

#### 6.3.1.1 Ikon

*Ikon* kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „Abbild“. Ein Ikon ist ein Zeichen, das die Bedeutung des Zeichens abbildet (Bühler et al., 2017, S. 3). Soll bspw. – wie links in Abbildung 13 – eine Treppe mittels eines Ikon abgebildet werden, so muss eine Treppe gezeichnet werden. Dieses Ikon ruft sofort den Gedanken an eine Treppe hervor, da wir bedingt durch die Wahrnehmung einer Treppe in der Realität eine gewisse Vorstellung von dieser haben.

### 6.3.1.2 Index

Ein Index (lat.: *Anzeiger*) hingegen ist ein Zeichen, das nicht unbedingt die genaue Bedeutung abbildet, sondern lediglich auf die Bedeutung referenziert (Bühler et al., 2017, S. 3). So erinnern Messer und Gabel an Essen. In der Mitte von Abbildung 13 sind lediglich Messer und Gabel zu sehen, aber sofort kommt der Gedanke an Essen und somit an ein Restaurant, ein Gasthaus, oder einen Imbiss auf. Somit referenziert dieses Zeichen auf eine Gaststätte.

### 6.3.1.3 Symbol

Symbole (griech.: *Sinnbilder*) sind ebenfalls Zeichen, denen aber jeglicher direkter Bezug zur Bedeutung fehlt, d.h. die Bedeutung eines Symbols muss erlernt werden (Bühler et al., 2017, S. 3). So fehlt einem Kreuz, wie rechts in Abbildung 13, jegliche Verbindung zu einer Rettungsorganisation oder zur Ersten Hilfe. Dennoch ist wohlbekannt, dass es sich beim "Roten Kreuz" um eine Rettungsorganisation handelt oder dass ein solches Kreuz in einem öffentlichen Gebäude auf einen Erste Hilfe-Bereich verweist.

### 6.3.1.4 Piktogramm

Unter einem Piktogramm versteht man ein Bildzeichen, welches auf das Wesentliche reduziert, leicht erkennbar, einprägsam und ohne Erklärung intuitiv verständlich ist (Bühler et al., 2017, S. 4). Ein Piktogramm beschreibt einen Sachverhalt in vereinfachter, bildhafter Form und dient der Information (Stapelkamp, 2007, S. 167). Piktogramme können auf etwas hinweisen, auf Empfehlungen für eine Handlung zielen sowie ein Verhalten vorschreiben (Moser, 2012, S. 207). Sie sollten über alle Sprach- und Kulturgrenzen hinweg global verständlich sein (Bühler et al., 2017, S. 6). So hat sich bspw. das Piktogramm der Abbildung 14 weltweit als Zeichen für „Fluchtweg“ durchgesetzt.



Abbildung 14: Fluchtweg als Piktogramm (Stapelkamp, 2007, S. 170)

Ein Piktogramm kann nicht von vornherein in eine der drei Kategorien eines Zeichens (Ikon, Index, Symbol) eingeordnet werden, oftmals verschwimmen die Grenzen und es ist gar keine eindeutige Einordnung möglich. Nach Bühler et al. (2017, S. 11) gibt es ikonische Piktogramme, symbolische Piktogramme und Mischformen.

Werden Piktogramme selbst entworfen, so sollten sie laut Alexander (2013, S. 213–214) gewisse Anforderungen erfüllen:

- Anforderung Erkennbarkeit:
  - Auffallen durch geschlossene, prägnante Form
    - z.B.: Kreisform, Quadratform, Diamantform
  - Auffallen durch Signalfarben und Kontrastwirkung
  - Vergrößerungs- und Verkleinerungsfähigkeit
    - Schwarz-weiß-fähig
  
- Anforderung Einprägsamkeit
  - Reduktion der Detailmenge
    - Eindeutiger Figur-Grund-Kontrast
    - Silhouetten nutzen
    - Schwarze Zeichnung auf weißem Grund
    - Weiße Zeichnung auf schwarzem Grund
  - Konsistenz der Stilmittel
    - Konsistente Umrisse
    - Konsistente Linienstärken
    - Konsistente Ausschnitte
    - Konsistenz innerhalb der Serie
  
- Anforderung der Einmaligkeit
  - Unverwechselbarkeit der Bildidee
  - Klare grafische Umsetzung der Bilder
    - Richtiger Abstraktionsgrad
    - Eindeutige Überschneidungen
    - Klarer Figur-Grund-Kontrast
    - Spiel mit Positiv- und Negativformen
  
- Anforderung der Emotionalität
  - Prägnante Bildfindung
  - Signalfarben

### 6.3.1.5 Sicherheitshinweise durch Zeichen

In der Technischen Dokumentation existieren für Sicherheitszeichen standardisierte und genormte Zeichen (Piktogramme, Symbole, etc.), deren Verwendung auch verbindlich ist (Alexander, 2013, S. 216).

So müssen alle Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnungen nach der Kennzeichnungsverordnung (KennV) erfolgen, aber auch Kennzeichnungen nach der

ÖNORM EN ISO 7010 sind zulässig, da allfällig bestehende Abweichungen von den Piktogrammen und Schildern der KennV die Bedeutung oder Verständlichkeit der Aussage nicht verändern oder vermindern.<sup>8</sup> Auch die DIN 4844-2 beinhaltet eine Sammlung von registrierten Sicherheitszeichen, welche den gleichen Gestaltungsgrundlagen folgen wie die Sicherheitszeichen der ISO 7010.

Die genormten Sicherheitszeichen nach ISO 7010 sind ausschließlich bei einer Gefährdung von Personen zu verwenden und können zur Sicherheitskennzeichnung in Arbeitsstätten, öffentlichen Bereichen, Sicherheitsanleitungen, Sicherheitshinweisen, Fluchtplänen, Rettungsplänen und auf Produkten verwendet werden (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 4). Die Sicherheitszeichen nach DIN 4844-2 gelten für Arbeitsstätten, für öffentliche Bereiche und für die Anwendung auf Produkten, sofern die Sicherheit von Personen betroffen ist (DIN 4844-2, 2012, S. 5). Die Sicherheitszeichen nach ISO 7010 und DIN 4844-2 können für den Zweck der Unfallverhütung, des Brandschutzes, des Schutzes vor Gesundheitsgefährdungen und für Fluchtwege verwendet werden (DIN 4844-2, 2012, S. 5; DIN EN ISO 7010, 2012, S. 5).

Falls ein registriertes Sicherheitszeichen für eine bestimmte Sicherheitsaussage nicht existiert, so kann das Sicherheitszeichen selbst gestaltet werden, wobei diese Sicherheitsaussagen nach den Gestaltungsgrundlagen der ISO 3864-1 und ISO 3864-3 gestaltet werden müssen (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 10).

### 6.3.1.6 Formen von Zeichen

In DIN ISO 3864-1 (2011, S. 10) sind die Formen, Farben und Kontrastfarben von Sicherheitszeichen festgelegt (siehe Abbildung 15). Es empfiehlt sich, diese Vorgaben für die Gestaltung von intuitiven Arbeitsinformationen zu verwenden, da diese Farben und Formen den gesellschaftlichen Konventionen entsprechen. Je nachdem ob es sich um eine verbietende, gebietende oder warnende Arbeitsinformation bzw. um eine Rettungsinformation oder Brandschutzinformation handelt, kann das passende Sicherheitszeichen aus Abbildung 15 ausgewählt werden und die jeweilige Arbeitsinformation in Anlehnung an das passende Sicherheitszeichen gestaltet werden.

---

<sup>8</sup> Quelle: Sozialministerium, Zentral-Arbeitsinspektorat, [https://www.arbeitsinspektion.gv.at/inspektorat/Arbeitsstaetten\\_Arbeitsplaetze/Allgemeines/Sicherheits\\_und\\_Gesundheitsschutzkennzeichnung](https://www.arbeitsinspektion.gv.at/inspektorat/Arbeitsstaetten_Arbeitsplaetze/Allgemeines/Sicherheits_und_Gesundheitsschutzkennzeichnung) [zugegriffen am: 18.08.2019]

Geometrische Form	Bedeutung	Sicherheitsfarbe	Kontrastfarbe zur Sicherheitsfarbe	Farbe des graphischen Symbols	Anwendungsbeispiele
 Kreis mit Diagonalbalken	Verbot	Rot	Weiß <sup>a</sup>	Schwarz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rauchen verboten</li> <li>- Kein Trinkwasser</li> <li>- Berühren verboten</li> </ul>
 Kreis	Gebot	Blau	Weiß <sup>a</sup>	Weiß <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augenschutz benutzen</li> <li>- Schutzkleidung benutzen</li> <li>- Hände waschen</li> </ul>
 Gleichseitiges Dreieck mit gerundeten Ecken	Warnung	Gelb	Schwarz	Schwarz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Warnung vor heißer Oberfläche</li> <li>- Warnung Biogefährdung</li> <li>- Warnung vor elektrischer Spannung</li> </ul>
 Quadrat	Gefahrlosigkeit	Grün	Weiß <sup>a</sup>	Weiß <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erste Hilfe</li> <li>- Notausgang</li> <li>- Sammelstelle</li> </ul>
 Quadrat	Brandschutz	Rot	Weiß <sup>a</sup>	Weiß <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brandmeldetelefon</li> <li>- Mittel und Geräte zur Brandbekämpfung</li> <li>- Feuerlöscher</li> </ul>
<sup>a</sup> Die Farbe Weiß schließt die Farbe für lang nachleuchtende Materialien unter Tageslichtbedingungen, wie in ISO 3864-4 beschrieben, ein.					

**Abbildung 15: Geometrische Formen, Sicherheitsfarben und Kontrastfarben von Sicherheitszeichen (DIN ISO 3864-1, 2011, S. 10)**

Die in Abbildung 15 abgebildeten Einzelzeichen können durch separate Zusatzzeichen in rechteckiger Form erweitert werden, um zusätzliche Sicherheitsinformationen in Form von Text und/ oder Zeichen bereitzustellen (DIN ISO 3864-1, 2011, S. 14). Die zusätzlichen Informationen können der Beschreibung, Ergänzung oder Klärung der Bedeutung des Sicherheitszeichens dienen (DIN ISO 3864-1, 2011, S. 14). Die Farben der Zusatzzeichen sind von der DIN ISO 3864-1 (2011, S. 10) ebenfalls vorgegeben (siehe Abbildung 17).

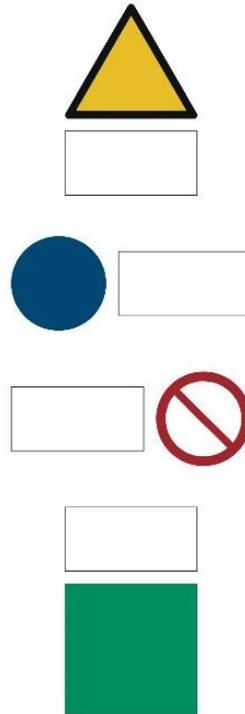


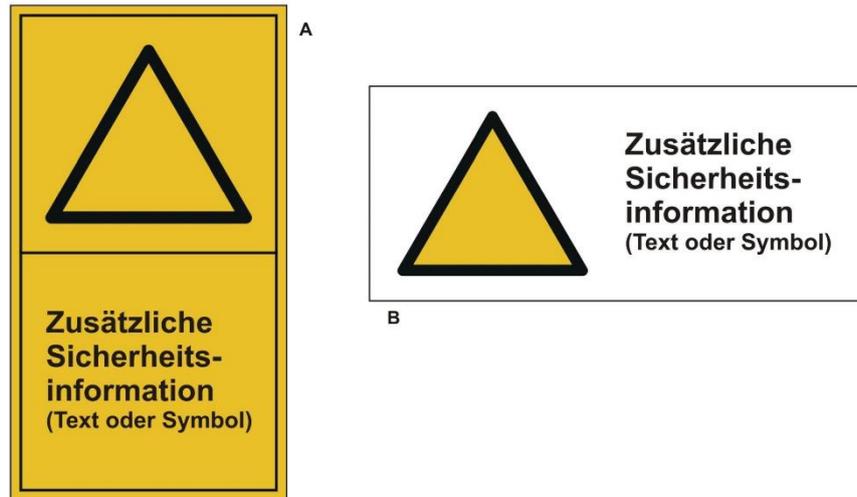
Abbildung 16: Beispiele für die Anordnung von Zusatzzeichen (DIN ISO 3864-1, 2011, S. 15)

Geometrische Form	Bedeutung	Hintergrundfarbe	Kontrastfarbe zur Hintergrundfarbe	Farbe der zusätzlichen Sicherheitsinformation
 Rechteck	Zusatzinformationen	Weiß	Schwarz	beliebig
		Sicherheitsfarbe des Sicherheitszeichens	Schwarz oder Weiß	

Abbildung 17: Farben der Zusatzzeichen (DIN ISO 3864-1, 2011, S. 10)

Werden die intuitiven Arbeitsinformationen der Winglet-Montage in Anlehnung an die Sicherheitszeichen gestaltet, so können ebenfalls Zusatzzeichen verwendet werden, um Zusatzinformationen bereitzustellen.

Außerdem können nach DIN ISO 3864-1 (2011, S. 14) für die Gestaltung von Sicherheitszeichen auch Kombinationszeichen verwendet werden. Dabei wird das Einzelzeichen auf dem Zusatzzeichen platziert, womit das Kombinationszeichen entsteht. Des Weiteren ist es möglich, das Kombinationszeichen mit einer Kontrastfarbe zu umrahmen (siehe rote Umrahmung des Verbotsschildes in Abbildung 19).



- BEISPIEL A Vertikale Anordnung in der Hintergrundfarbe des Sicherheitszeichens und mit Rändern.  
 BEISPIEL B Horizontale Anordnung nicht in der Hintergrundfarbe des Sicherheitszeichens und ohne Ränder.

**Abbildung 18: Kombinationszeichen (DIN ISO 3864-2, 2016, S. 14)**

Vor allem diese Kombinationszeichen eignen sich für die Verwendung bei der Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion, da hier nur ein einziges Zeichen bereitgestellt werden muss. Der Koordinationsaufwand für die korrekte Platzierung der Projektion ist bei der Variante, dass ein Einzelzeichen und ein separates Zusatzzeichen verwendet werden, um einiges höher als bei Kombinationszeichen. Dabei es wohl am sinnvollsten, die Kombinationszeichen nur für Schulungszwecke zu verwenden, während die Einzelzeichen für den laufenden Prozess der Winglet-Montage genutzt werden.



**Abbildung 19: Beispiele für ein Verbot und für eine Warnung in Form eines Kombinationszeichens<sup>9</sup>**

<sup>9</sup> Quelle: eigene Fotografie



Abbildung 20: Beispiele Verbotsschilder als Kombinationszeichen<sup>10</sup>

### 6.3.2 Kurze Textanweisungen

Die Arbeitsinformationen können auch in Form von kurzen Sätzen oder einzelnen Wörtern auf das Bauteil oder die umliegenden Wände projiziert werden. Außerdem können Zeichen durch kurze Textanweisungen erweitert bzw. erklärt werden, indem Zusatzzeichen oder Kombinationszeichen verwendet werden (siehe Kapitel 6.3.1.6). Der wohl wichtigste Aspekt an diesen Texten ist die gute Lesbarkeit. Die Gestaltung von Texten unterliegt dem Fachbereich der *Typografie*. Im Folgenden soll kurz auf ein paar grundlegende Aspekte der Typografie eingegangen werden.

Die Grundlage der Typografie ist die Schrift, welche aus einem Satz von Zeichen besteht. Alle Zeichen besitzen eine Bedeutung (Moser, 2012, S. 200). In den westlichen Ländern werden die sog. lateinischen Buchstaben (A bis Z bzw. a bis z) verwendet, um Sätze und Wörter zu konstruieren.

Es können Groß- und Kleinbuchstaben verwendet sowie verschiedenste Schriftarten gewählt werden. Unter der Schriftart versteht man die grafische Darstellung der Schrift (Moser, 2012, S. 200). Jede Schriftart besitzt eigene Proportionen, Formen, Strichdicken und Serifen (Moser, 2012, S. 200). Die Sprache des Textes wird die jeweilige Landessprache sein, in der das dynamische Projektionssystem zum Einsatz kommt. Aber auch Englisch als Weltsprache in Industrie und Wirtschaft kann sich in gewissen Anwendungsfällen eignen.

Bei der Wahl einer Schriftart sollten laut Moser (2012, S. 200) folgende Punkte beachtet werden:

- Ist die Schrift auf dem Zielsystem verfügbar?

<sup>10</sup> Quelle: eigene Fotografie

- Hat die Schrift eine ausreichend gute Lesbarkeit?
- Passt die Schriftart zum Einsatzzweck?

Die kurzen Textanweisungen können ebenfalls in Anlehnung an die Sicherheitszeichen gestaltet werden. Dabei können die kurzen Textanweisungen einfach auf den Zusatzzeichen platziert werden, welche ohne ein Einzelzeichen bereitgestellt werden.

## 6.4 Farbe

### 6.4.1 Wahrnehmung von Farben

Durch Sinneszellen ist es möglich, dass auf der Netzhaut des Auges Farbunterscheidungen getroffen werden können. Dabei kann das Auge des Menschen von den einfallenden Lichtstrahlen Farben im Wellenlängenbereich von etwa 760 nm (rot) bis 380 nm (blau) wahrnehmen, wodurch ca. sieben Millionen Farbvarianten unterschieden werden können (Stapelkamp, 2007, S. 32). Durch verschiedene Sehsubstanzen der Sinneszellen erfolgt die Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau zu sämtlichen Farbtönen des Spektrums und durch die sog. Stäbchen erfolgt das Schwarz-Weiß-Sehen (Stapelkamp, 2007, S. 32).

### 6.4.2 Kontrast

Mit der Farbe ist auch der Begriff des *Kontrasts* eng verbunden. Nach Stapelkamp (2007, S. 58–73) können verschiedene Arten von Kontrast unterschieden werden:

- Simultankontrast

Farbe wird relativ zur Umgebung, je nach Umgebungsfarbe, unterschiedlich in ihrem Farbton und ihrer Helligkeit wahrgenommen, was als Simultankontrast bezeichnet wird (Stapelkamp, 2007, S. 58).

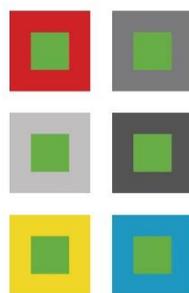


Abbildung 21: Simultankontrast (Stapelkamp, 2007, S. 58)

- Komplementärkontrast

Der Komplementärkontrast bezeichnet jene Farben, die sich im Farbkreis gegenüber liegen, wobei es keinen einheitlichen Farbkreis gibt, sondern sich diese je nach Farbmodell unterscheiden (Stapelkamp, 2007, S. 60). Nach Stapelkamp (2007, S. 60) eignet sich vor allem der Farbkreis nach Harald Küppers für jegliche Gestaltungsüberlegungen, sowohl nach ästhetischen als auch nach ergonomischen Kriterien.



Abbildung 22: Komplementärkontrast (Stapelkamp, 2007, S. 60)

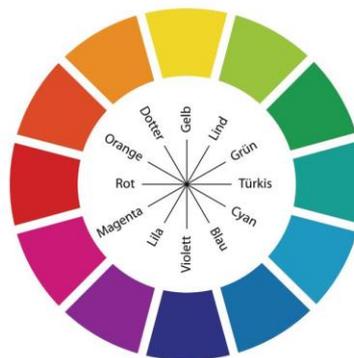


Abbildung 23: Farbkreis nach Harald Küppers (Stapelkamp, 2007, S. 33)

- Farbe-an-sich-Kontrast
- Quantitätskontrast
- Bunt-Unbunt-Kontrast
- Hell-Dunkel-Kontrast

Dieser Kontrast trägt wesentlich dazu bei, dass Details erkennbar sind, etwa ein Text vor einem Hintergrund. Dieser Kontrast ist aus ergonomischer Sicht sehr wichtig und nicht nur für Menschen mit einer Seh- oder Farbschwäche relevant. Ein zu starker Hell-Dunkel-Kontrast kann auf die Augen sehr ermüdend wirken (Stapelkamp, 2007, S. 68).



Abbildung 24: Hell-Dunkel-Kontrast (Stapelkamp, 2007, S. 68)

- Kalt-Warm-Kontrast
- Qualitätskontrast

### 6.4.3 Wirkung von Farben

Farben können Emotionen in Menschen wecken, die wegen Assoziationen mit natürlichen Eindrücken, persönlichen Erlebnissen, kulturellen Überlieferungen oder erlernten fachspezifischen Bedeutungen entstehen (Moser, 2012, S. 196). Manche Assoziationen sind für jeden Menschen gleich, andere hängen von der Kultur oder dem fachlichen Hintergrund des Betrachters ab (Moser, 2012, S. 196).

Moser (2012, S. 196–197) hat Tabellen zu den natürlichen, kulturellen und fachspezifischen Assoziationen von ausgewählten Farben erstellt, welche folgend auszugsweise dargestellt sind:

	Rot	Orange	Gelb
Fachspezifische Assoziation	Rot steht für Stopp, Fehler, Gefahr und in der Elektrik für den Pluspol.	Orange ist auffälliger als Gelb und wird oft als Warnfarbe verwendet. Für Gefahrgüter, Warnleuchten oder Schilder	Gelb wird für Warnhinweise oder in Kombination mit Schwarz für Gift verwendet.

**Tabelle 4: Fachspezifische Assoziationen mit den Farben Rot, Orange und Gelb (Moser, 2012, S. 196)**

	Grün	Blau	Violett	Schwarz
Fachspezifische Assoziationen	Grün wird, wie bei der Ampel, als positive Bestätigung verwendet. Es steht für alles OK oder in Betrieb	Blau wird oft als Informationsfarbe verwendet	In der Lichttechnik steht Violett für UV-Licht	Professionelle Produkte sind oft in Schwarz gehalten. Schwarze Zahlen bedeuten Gewinn.

**Tabelle 5: Fachspezifische Assoziationen mit den Farben Grün, Blau, Violett und Schwarz (Moser, 2012, S. 197)**

### 6.4.4 Empfehlungen für den Gebrauch von Farbe

Stapelkamp (2007, S. 90–91) hat folgende Regeln für den Gebrauch von Farbe beim Screen- und Interfacedesign empfohlen:

- 1) Farben sollen besonnen und sparsam eingesetzt werden.
- 2) Ein kontrastreicher Einsatz von Farben sichert eine konturenscharfe Darstellung und eine gute Leserbarkeit.
- 3) Die Farbe des Vordergrundes soll sich ausreichend vom Hintergrund abheben.
- 4) Nimmt der Helligkeitskontrast ab, so wird eine Schrift schwieriger zu lesen.
- 5) Ein Hell-Dunkel-Kontrast hilft besonders sehgeschwachen Menschen, Bilder, Texte usw. gut zu lesen und zu erkennen.
- 6) Je mehr Farben bei einem Text verwendet werden, desto unlesbarer wird er.

- 7) Bei Texten sollte die Farbe Blau vermieden werden, da diese Farbe ein relativ kurzwelliges Licht ist. Kurzwelliges Licht wirkt unschärfer als langwelliges Licht.
- 8) Um das sog. „Flimmern“ von Farben zu vermeiden, sollten die RGB-Primärfarben (Rot-Grün-Blau) nicht gemeinsam benutzt werden, bspw. bei Text- und Hintergrundkombinationen. Deren Wellenlängen liegen sehr nah beisammen, sodass sie im Auge als farbiges Flimmern wahrgenommen werden.
- 9) Die rote und grüne Farbe soll nicht parallel verwendet werden aufgrund der sog. Rot-Grün-Farbfehlsichtigkeit, von welcher ein nicht zu unterschätzender Bevölkerungsanteil betroffen sind.
- 10) Gelb- und Blaufarbtonabstufungen sollten nicht gleichzeitig nebeneinander verwendet werden, wenn die Differenzierbarkeit dieser Abstufungen zwingend erkannt werden muss. Mit zunehmendem Alter kommt es zu einer Vergilbung der Augenlinse, weshalb diese Abstufung nicht mehr so gut differenziert werden kann.
- 11) Je nach verwendetem Darstellungsmedium und der Intension sollte über eine Optimierung der Farben auch für einen Schwarz-Weiß-Ausdruck nachgedacht werden.
- 12) Farbstandards, welche aufgrund der jeweiligen Kultur oder geografischen Lagen bedingt sein können, sollten beachtet und respektiert werden.
- 13) Ist eine Farbe mit einer Bedeutung oder Funktion belegt, so soll diese Farbe nur noch zum Zwecke dieser Bedeutung oder Funktion einheitlich genutzt werden. Doppelbenutzungen sollen vermieden werden, es kann aber trotzdem mit Farb-Abstufungen gearbeitet werden.
- 14) Unterschiede können mithilfe von klar unterscheidbaren Farben betont werden.
- 15) Farben können die Aussage und Funktion unterstützen. Zustände, Zustandsübergänge und Unterscheidungen von Zuständen können mittels Farbe visualisiert werden.
- 16) Mit Farbe kann die Aufmerksamkeit auf bestimmte Informationen gelenkt und fokussiert werden und es können Sach- bzw. Bezugszusammenhänge visualisiert werden. Durch Farbe kann fokussiert, differenziert und verbindend visualisiert werden.

#### 6.4.5 Additive Farbmischung

Unter der additiven Farbmischung versteht man das Mischen von farbigem Licht, welches durch Reflexion oder mittels direkter Bestrahlung zum Auge gelangt (Stapelkamp, 2007, S. 46). Eine direkte Bestrahlung in das menschliche Auge kann durch selbstleuchtende Medien erfolgen, wie z.B. Projektoren, Fernseher, Röhrenmonitore, Flachbildschirme oder Display, wobei die Mischung außerhalb oder innerhalb des Auges erfolgen kann (Stapelkamp, 2007, S. 46).

Die Grundfarben der additiven Mischung von Farben sind die Farben Rot, Grün und Blau, welche auch als RGB-Farben oder Lichtfarben bezeichnet werden (Stapelkamp, 2007, S. 46). Abbildung 25 zeigt, welche Farben durch Mischung der RGB-Farben entstehen.

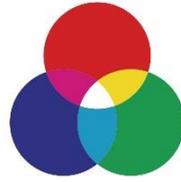


Abbildung 25: Grundfarben der additiven Farbmischung (Stapelkamp, 2007, S. 47)

### 6.4.6 Farben der Sicherheitszeichen

Wie schon durch Abbildung 15 gezeigt, haben die Sicherheitszeichen „Verbot“, „Gebot“, „Warnung“, „Gefahrlosigkeit“ und „Brandschutz“ vorgegebene Farben, welche laut DIN ISO 3864-1 (2011, S. 10) bei Sicherheitszeichen verwendet werden müssen.

Es empfiehlt sich, bei der Gestaltung von Zeichen auch die Farben der Sicherheitszeichen zu übernehmen. Diese Farben entsprechen – wie auch die Formen der Zeichen – den gesellschaftlichen Konventionen und Assoziationen.

Die DIN 4844-1 (2012, S. 9) gibt einen Hinweis darauf, wie die Farben von Sicherheitszeichen auszusehen haben. Sie werden dabei in Form einer RAL-Nummer angegeben, welche in Tabelle 6 aufgelistet sind. RAL ist ein handelsübliches Farbordnungssystem (DIN 4844-1, 2012, S. 9). Auch die RAL-Namen (Farbnamen) und die RGB-Werte der in den Einzelzeichen vorkommenden Farben sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Zeichen	RAL-Name	RAL-Nummer	Rot	Grün	Blau	
Verbot	Signalrot	3001	155	36	35	
	Signalweiß	9003	236	236	231	
Gebot	Signalblau	5005	0	83	135	
Warnung	Signalgelb	1003	249	168	0	
	Signalschwarz	9004	43	43	44	
Gefahrlosigkeit	Signalgrün	6032	35	127	82	
Brandschutz	Signalrot	3001	155	36	35	
Kombinations-schild	Signalweiß	9003	236	236	231	
	Signalfarbe des jeweiligen Einzelschildes					

Tabelle 6: Farben der Sicherheitsschilder (DIN 4844-1, 2012, S. 9)<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Quelle der RAL-Namen und der den jeweiligen RAL – Nummern zugeordneten RGB-Hex: [https://de.wikipedia.org/wiki/EN\\_ISO\\_7010](https://de.wikipedia.org/wiki/EN_ISO_7010) [zugegriffen am: 03.09.2019]; Umwandlung der RGB-Hex in die RGB-Werte mittels: <http://www.farb-tabelle.de/de/rgb2hex.htm> [zugegriffen am: 03.09.2019]

Wie in Abbildung 15 gezeigt, haben auch die graphischen Symbole der jeweiligen Einzelzeichen fix festgelegte Farben. Aufgrund der RGB-Werte, welche aus Tabelle 6 abzulesen sind, kann man den Symbolen folgende RGB-Werte zuordnen:

Zeichen	Farbe des Symbols	Rot	Grün	Blau	
Verbot	Signalschwarz	43	43	44	
Warnung	Signalschwarz	43	43	44	
Gefahrlosigkeit	Signalweiß	236	236	231	
Brandschutz	Signalweiß	236	236	231	

**Tabelle 7: RGB-Werte der Farben der Symbole der Sicherheitsschilder**

Werden das Einzelzeichen und ein Zusatzzeichen zu einem Kombinationsschild kombiniert, so hat das Kombinationsschild entweder die Farbe „Signalweiß“ oder die Signalfarbe des jeweiligen Einzelschildes (siehe Abbildung 18). Der mögliche informatorische Zusatztext ist dann, je nach Farbe des Kombinationsschildes, in der zugeordneten Kontrastfarbe zur Farbe des Kombinationsschildes zu wählen. Diese Kontrastfarben sind in Tabelle 8 aufgelistet und sind der Abbildung 15 bzw. Abbildung 17 entnommen.

Farbe des Kombinationsschildes	Zugeordnete Kontrastfarbe
Signalblau	Signalweiß
Signalgelb	Signalschwarz
Signalgrün	Signalweiß
Signalrot	Signalweiß
Signalweiß	Signalschwarz

**Tabelle 8: Kontrastfarben der Sicherheitsfarben**

## 7 Nutzwertanalyse

Dieses Kapitel soll die Grundlagen der sog. Nutzwertanalyse aufbereiten, mit deren Hilfe im Zuge der Evaluierung Aussagen über den Mehrwert bei einer Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion getroffen werden sollen.

Eine Nutzwertanalyse ist ein Instrument, um in komplexen Situationen Entscheidungen und Aussagen treffen zu können, auch wenn vielfältige Aspekte zu berücksichtigen sind und viele Personen am Entscheidungsprozess teilnehmen (Kühnapfel, 2019, S. 1). Dabei beruht die Nutzwertanalyse auf dem Prinzip der Fragmentierung, d.h. das Gesamtproblem wird in Teilprobleme zerlegt und dieses, falls notwendig, wird wiederum in Teilprobleme zerlegt, usw. (Kühnapfel, 2019, S. 1).

Laut Kühnapfel (2019, S. 2–3) ist die Nutzwertanalyse immer dann sinnvoll, wenn mindestens eine der folgenden Gegebenheiten vorliegt:

- Die Anzahl der zu berücksichtigenden Aspekte (Einflussfaktoren, Determinanten) ist hoch.
- Die Aspekte sind unterschiedlicher Natur (qualitativ, quantitativ, Vermutungen).
- Es kann keine eindeutige Rangfolge der Aspekte festgelegt werden. Sie erscheinen unterschiedlich wichtig und/oder nicht transitiv. Jeder Beteiligte sieht die von ihm vertretenen Aspekte als die wichtigsten an.
- Es sind mehrere unterschiedliche Personen mit unterschiedlichen Meinungen und Vorerfahrungen am Entscheidungsprozess beteiligt.
- Die Entscheidung kann nicht auf Grund von Erfahrung oder unternehmerischen Instinkten getroffen werden, oder es ist nicht sinnvoll.
- Die Entscheidung soll von Aufsichtsgremien, Gesellschaftern oder Vorgesetzten nachvollzogen werden.

Folgend soll die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Nutzwertanalyse erklärt werden. Die gesamte Erklärung dieser Vorgehensweise stammt von Kühnapfel (2019, S. 5–21).

### 1) Benennung des Entscheidungsproblems

Die Nutzwertanalyse kann für zwei unterschiedliche Arten von Entscheidungsproblemen verwendet werden:

- Auswahlproblem:  
Man muss zwischen zwei oder mehreren Alternativen wählen.
- Sortierung bzw. Priorisierung:

Man will eine Reihenfolge zwischen mehreren Alternativen festlegen. Jede Alternative erhält am Ende einen Nutzwert (Scorewert), womit eine Reihenfolge gebildet werden kann.

Bei der Formulierung der Fragestellung des Entscheidungsproblems muss die Zielstellung bekannt sein, um die Fragestellung sinnvoll formulieren zu können. Je nachdem welche Ziele man sich steckt, können die Kriterien, welche im vierten Schritt gesammelt werden und schlussendlich auch bewertet werden, gänzlich anders aussehen.

## 2) Auswahl der Entscheidungsalternativen

In diesem Schritt werden die Alternativen festgelegt und es soll überprüft werden, ob alle gewählten Alternativen wirklich relevant sind oder ob versehentlich wichtige Alternativen vergessen wurden.

## 3) Sammlung von Entscheidungskriterien

Es müssen alle Aspekte eines Entscheidungskriteriums beachtet und gesammelt werden. Diesen Aspekten werden Kriterien zugeordnet, die maßgeblich für die Entscheidung sind. Diese Suche nach Kriterien ist ein analytischer und auch kreativer Prozess, dessen Ergebnis ein Katalog an Kriterien ist, der das Entscheidungsproblem hinsichtlich der Ziele und des Handlungsrahmens am besten beschreibt.

## 4) Gewichtung der Entscheidungskriterien

In diesem Schritt muss die Relevanz der festgelegten Kriterien für den Entscheidungsprozess bestimmt werden. Diese Bedeutung wird mit Hilfe einer Verhältniszahl ausgedrückt, dem sog. *Gewicht*. Dieses beschreibt die relative Bedeutung jedes einzelnen Kriteriums. Werden alle Gewichte aufsummiert, so kommt man auf 100 %.

Kriterium	Gewicht [%]
Produktivität	14
Ergonomie	18
Nutzerakzeptanz	18
Usability	21
User Experience	18
Qualitätskosten	11
Summe	100

Tabelle 9: Gewichtung von ausgewählten Kriterien

Falls es zu einem Aspekt „A“ sehr viele Kriterien gibt, einem anderen Aspekt „B“ aber bspw. nur ein paar wenige Kriterium zugeordnet wurden, so wird die Summe der Gewichte der „A“-Kriterien größer sein als die Summe der Gewichte der „B“-Kriterien. Selbst wenn beide Kriterien gleich wichtig sein sollten, so führen die vielen Kriterien des Aspektes „A“ zu einer Überbewertung desselben. Dies kann vermieden werden,

indem die Kriterien kategorisiert und zunächst die Kategorien gewichtet werden. Anschließend muss man die einzelnen Kriterien der Kategorien gewichten. Durch Multiplikation von Kategoriegewicht mit dem Einzelgewicht ergibt sich das jeweilige Kriteriumsgewicht.

Kategorie	Kategoriegewicht [%]	Kriterium	Kriteriumsgewicht innerhalb der Kategorie [%]	Gesamtgewicht des Kriteriums [%]
Kosten	30	Produktivität	40	12
		Qualitätskosten	60	18
Mitarbeiter	70	Ergonomie	20	14
		Nutzerakzeptanz	30	21
		User Experience	20	14
		Usability	30	21
Summe	100			100

Tabelle 10: Gewichtung bei vorheriger Kategorisierung

## 5) Bewertung der Entscheidungskriterien

In diesem Schritt müssen die Kriterien bewertet werden. Davor muss eine geeignete Bewertungsskala festgelegt werden, etwa wieder eine Schulnotenskala oder eine 10er-Skala. Bei der 10er-Skala kann es nützlich sein, Korridore vorzugeben (siehe Tabelle 11).

Punkte	Bedeutung
0	Kriterium ist nicht erfüllt/ nicht nützlich
1-3	Kriterium ist unzureichend und nur mit erheblichen Mängeln erfüllt/ nur bedingt nützlich
4-6	Kriterium ist hinreichend, aber mit Mängeln erfüllt/ nützlich
7-9	Kriterium ist in gutem Umfang erfüllt/ sehr nützlich
10	Kriterium ist in sehr gutem Umfang erfüllt/ außerordentlich nützlich

Tabelle 11: Korridore bei einer 10er-Skala

## 6) Nutzwertberechnung

Es müssen nun die im fünften Schritt ermittelten Kriteriengewichte mit den im sechsten Schritt ermittelten Kriterienwerten multipliziert werden, um die Kriterienpunktswerte zu erhalten. Um abschließend den Nutzwert je Alternative zu erhalten, muss die Summe der Kriterienpunktswerte je Alternative gebildet werden.

Um den Nutzwert je Alternative zu berechnen, kann somit folgenden Formel verwendet werden.

$$N_{\text{Alternative}} = \sum_{\text{Kriterien}} \left( \frac{\text{Gesamtgewicht des Kriteriums} [\%]}{100} * \frac{\text{Bewertung des Kriteriums für die Alternative} [\%]}{100} \right)$$

Formel 1: Berechnung des Nutzwertes einer Alternative

In der folgenden Tabelle soll diese Nutzwertberechnung beispielhaft zusammengefasst gezeigt werden.

Kriterium	Gewicht [%]	Alternative A		Alternative B		Alternative C	
		Bewertung	Punktwert	Bewertung	Punktwert	Bewertung	Punktwert
Produktivität	12	4	0,48	3	0,36	9	1,08
Qualitätskosten	18	5	0,9	5	0,9	5	0,9
Ergonomie	14	2	0,28	7	0,98	3	0,42
Nutzerakzeptanz	21	8	1,68	5	1,05	6	1,26
User Experience	14	8	1,12	1	0,14	8	1,12
Usability	21	7	1,47	9	1,89	2	0,42
Summe	100						
<b>Nutzwerte</b>			<b>5,93</b>		<b>5,32</b>		<b>5,2</b>

**Tabelle 12: Nutzwertberechnung**

Die Nutzwerte in der untersten Zeile von Tabelle 12 stellen das Endergebnis der Nutzwertanalyse dar. Da die Alternative A den höchsten Nutzwert hat, ist diese den Alternativen B und C vorzuziehen.

Bei korrekter Anwendung der Methode darf davon ausgegangen werden, dass die beste Alternative so korrekt, wie es das Urteilsvermögen und die prognostischen Fähigkeiten der Teilnehmer der Nutzwertanalyse zulassen, ermittelt wurde. Wahrnehmungsverzerrungen sollen durch die Methode so gut wie möglich reduziert werden.

## 8 Auswahl und Gestaltung intuitiver Arbeitsinformationen der Winglet-Montage

In diesem Kapitel werden ausgewählte typische Arbeitsinformationen der Winglet-Montage intuitiv gestaltet. Dabei werden die Zeichen und Texte sowohl selbst gestaltet und es wird auch auf bereits bestehende Piktogramme, welche im Kontext der Winglet-Montage vorkommen können, zurückgegriffen.

Bzgl. der Form und der Farben der intuitiven Arbeitsinformationen werden die Formen und Farben der Sicherheitszeichen übernommen. Dies empfiehlt sich vor allem deshalb, da diese Formen und Farben den gesellschaftlichen Konventionen entsprechen.

Deshalb werden folgend beispielhaft verbietende Arbeitsinformationen in Form von Verbotsschildern, gebietende Arbeitsinformationen in Form von Gebotsschildern, warnende Arbeitsinformationen in Form von Warnschildern, Rettungsinformationen in Form von Rettungsschildern und Brandschutzinformationen in Form von Brandschutzschildern intuitiv dargestellt.

Es werden sowohl Einzelzeichen als auch Kombinationszeichen ausgewählt bzw. gestaltet. Die Einzelzeichen eignen sich für den laufenden Prozess der Winglet-Montage, während die mit Erklärungen ausgestatteten Kombinationszeichen hauptsächlich für Schulungszwecke verwendet werden können. Auch zwei kurze Textanweisungen werden gestaltet, wobei deren Gestaltung ebenfalls in Anlehnung an die Sicherheitszeichen geschieht. Die kurzen Textanweisungen werden dabei einfach auf Zusatzschildern platziert, welche ohne ein Einzelzeichen bereitgestellt werden.

Für die Gestaltung der intuitiven Arbeitsinformationen werden in diesem Kapitel die Farbtöne nach der Empfehlung der DIN 4844-1 bzw. Tabelle 6 verwendet. Als Schriftart für die Texte der Kombinationszeichen und kurzen Textanweisungen wird die Schriftart *Arial Black* verwendet.

## 8.1 Auswahl und Gestaltung verbotender intuitiver Arbeitsinformationen

- Beispiel UV-Schutz

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Während der Produktion, des Transports und der Lagerung muss sichergestellt werden, dass ausgehärtete und nicht lackierte Bauteile keiner direkten UV-Strahlung ausgesetzt werden.<sup>12</sup>

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 26: UV-Schutz – Einzelzeichen



Abbildung 27: UV-Schutz – Kombinationszeichen

<sup>12</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

- Beispiel Falten und Verknitterungen

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Falten bzw. Verknitterungen an den Prepregs müssen vermieden werden. Diese können beim Zuschnitt entstehen. Falls Falten oder Verknitterungen entstehen, so muss der zuständige Quality Engineer kontaktiert werden.<sup>13</sup>

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde ausgewählt bzw. gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 28: Falten und Verknitterungen – Einzelzeichen (DIN 4844-2, 2012, S. 26)<sup>14</sup>



Abbildung 29: Falten und Verknitterungen – Kombinationszeichen

<sup>13</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

<sup>14</sup> Dieses Zeichen darf laut DIN 4844-2 (2012, S. 26) nur verwendet werden, wenn durch Zusammenschieben oder Falten die Gefahr eines Brandes durch Kurzschluss droht (ist im vorliegenden Fall der Winglet-Montage nicht gegeben).

## 8.2 Auswahl und Gestaltung gebietender intuitiver Arbeitsinformationen

- Beispiel Föhn:

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Wird für das leichtere Drapieren der Lagen ein Heißluftföhn verwendet, so darf die max. Benutzungsdauer von 2 Minuten und die max. Temperatur von 65° nicht überschritten werden!<sup>15</sup>

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 30: Föhn – Einzelzeichen

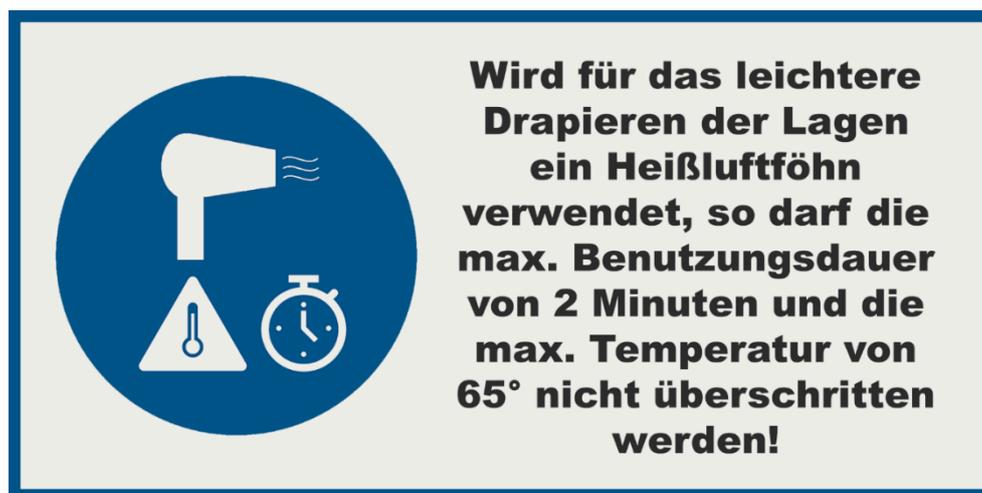


Abbildung 31: Föhn – Kombinationszeichen

<sup>15</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

- Beispiel Schneiden der Lagen:

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Das Schneiden von Lagen ist nur per Schneidlineal oder Schere erlaubt.<sup>16</sup>

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 32: Zuschnitt der Lagen – Einzelzeichen



Abbildung 33: Zuschnitt der Lagen – Kombinationszeichen

<sup>16</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

- Beispiel Handschutz

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Zum Schutz des Personals und der Werkstoffe sind weiße, fusselfreie und saubere Polypropylen-Handschuhe zu benutzen.<sup>17</sup>

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde ausgewählt bzw. gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 34: Handschutz – Einzelzeichen (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 50)



Abbildung 35: Handschutz – Kombinationszeichen

---

<sup>17</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

## 8.3 Auswahl und Gestaltung warnender intuitiver Arbeitsinformationen

- Beispiel Explosionsgefahr

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Durch die Bearbeitung von CFK-Bauteilen entsteht Partikelstaub, welcher in die Staubexplosionsklasse 1 eingestuft ist (Fachbereich Holz und Metall der DGUV, 2014, S. 2).

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde ausgewählt bzw. gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 36: Explosionsgefahr – Einzelzeichen (DIN 4844-2, 2012, S. 43)



Abbildung 37: Explosionsgefahr – Kombinationszeichen

- Beispiel Hautreizung

Ursprüngliche textuelle Arbeitsinformation in Form eines Papierdokumentes oder Dokumentes auf einem zentralen PC:

Bei direktem Hautkontakt mit Stäuben bzw. Fasern von CFK-Bauteilen können allergische Kontaktekzeme, sowie Juckreize und Hautreizungen entstehen (Fachbereich Holz und Metall der DGUV, 2014, S. 2).

Folgendes intuitives Einzelzeichen und Kombinationszeichen wurde ausgewählt bzw. gestaltet, um die Arbeitsinformation mitzuteilen:



Abbildung 38: Hautreizung – Einzelzeichen (Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, 2007, S. 7)



Abbildung 39: Hautreizung – Kombinationszeichen 1

Folgendes Kombinationszeichen wurde gestaltet, um neben der eigentlichen Arbeitsinformation auch darauf hinzuweisen, dass zur Vermeidung von Hautreizungen ein Handschutz zu tragen ist:



Abbildung 40: Hautreizung - Kombinationszeichen 2

## 8.4 Auswahl und Gestaltung von Brandschutzzeichen

- Beispiel Feuerlöscher

Folgende Brandschutzzeichen kennzeichnen den Ort eines Feuerlöschers. Sie stellen also keine Arbeitsinformationen bzgl. des Prozesses der Winglet-Montage dar. Sie können mittels dynamischer Projektion an eine umliegende Wand projiziert werden, um den Ort eines Feuerlöschers anzuzeigen. In der aktuellen Ausgangslage (Informationsbereitstellung per Dokument) wird die Bedeutung des Zeichens dem Mitarbeiter in einem Brandschutzdokument erklärt, welches in Papierform oder in Form eines Dokumentes auf einem zentralen PC zur Verfügung steht.



Abbildung 41: Feuerlöscher – Einzelzeichen (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 36)

Folgendes Kombinationszeichen wurde gestaltet, um das Einzelzeichen des Feuerlöschers zusätzlich zu erklären:



Abbildung 42: Feuerlöscher Kombinationszeichen

- Beispiel Brandmelder

Folgende Brandschutzzeichen kennzeichnen den Ort eines Brandmelders. Auch dieses Zeichen stellt keine direkte Arbeitsinformation bzgl. des Prozesses der Winglet-Montage dar und kann auf umliegende Wände projiziert werden, um den Ort eines Brandmelders anzuzeigen. In der aktuellen Ausgangslage (Informationsbereitstellung per Dokument) wird die Bedeutung des Zeichens in einem Brandschutzdokument (Papierdokument oder Dokument auf einem zentralen PC) erklärt.



Abbildung 43: Brandmelder – Einzelzeichen (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 40)

Folgendes Kombinationszeichen wurde gestaltet, um das Einzelzeichen des Brandmelders zusätzlich zu erklären:



Abbildung 44: Brandmelder – Kombinationszeichen

## 8.5 Auswahl von Rettungszeichen

- Beispiel Fluchtweg

Folgende Zeichen kennzeichnen einen Fluchtweg bzw. in welche Richtung ein Fluchtweg zu finden ist. Dieses Zeichen ist international sehr weit verbreitet und allgemein verständlich, weswegen sich eine weitere Erklärung in Form eines Kombinationszeichens oder Zusatzzeichens erübrigt. Diese Zeichen können direkt auf das Winglet-Werkzeug oder umliegende Wände und Böden projiziert werden, um einen Fluchtweg anzuzeigen.



Abbildung 45: Fluchtweg in Richtung "rechts" (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 20)



Abbildung 46: Fluchtweg in Richtung "links" (DIN EN ISO 7010, 2012, S. 19)

## 8.6 Gestaltung von kurzen Textanweisungen

### 8.6.1 Gestaltung einer warnenden Textanweisung

- Beispiel FOD

Die folgende gestaltete Textanweisung warnt vor einer *Foreign Object Damage* (zu Deutsch: *Beschädigung durch Fremdkörper*).<sup>18</sup> Wie in Kapitel 3 erklärt, werden die Prepregs meist zwischen einer Polyethylen-Folie und einem Silikonpapier geliefert. Beim Abziehen der Folie kann es vorkommen, dass Rückstände der Folie am Prepreg haften bleiben, was in weiterer Folge zu Beschädigungen am Bauteil führen kann.<sup>19</sup>



Abbildung 47: Textanweisung – Foreign Object Damage

<sup>18</sup> Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Foreign\\_Object\\_Damage](https://de.wikipedia.org/wiki/Foreign_Object_Damage) [zugegriffen am: 09.09.2019]

<sup>19</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

## 8.6.2 Gestaltung einer gebietenden Textanweisung

- Beispiel Layup

Diese Textanweisung weist darauf hin, dass das Layup der Lagen nach den Konturen zu erfolgen hat, welche von einem Lasersystem vorgezeichnet werden.<sup>20</sup>



Abbildung 48: Textanweisung – Layup

<sup>20</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

## 9 Bereitstellung der intuitiven Informationen mittels eines dynamischen Projektionssystems

In diesem Kapitel wird grob der Aufbau des dynamischen Projektionssystems in der Pilotfabrik erklärt. Außerdem wird gezeigt, wie die in Kapitel 8 gestalteten Arbeitsinformationen via dem dynamischen Projektionssystem der Pilotfabrik am Winglet-Werkzeug bereitgestellt werden. Als Folge dieser Bereitstellung ergeben sich bei Teilen der intuitiven Informationen Veränderungen an der Gestaltung, um für die Mitarbeiter besser am Winglet-Werkzeug erkannt werden zu können.

### 9.1 Dynamisches Projektionssystem Pilotfabrik

Um die gestalteten Arbeitsinformationen als Projektion bereitzustellen, wird ein technischer Aufbau benötigt. Abbildung 49 zeigt die technischen Komponenten, welche rund um das Winglet-Werkzeug in der Pilotfabrik aufgebaut sind.

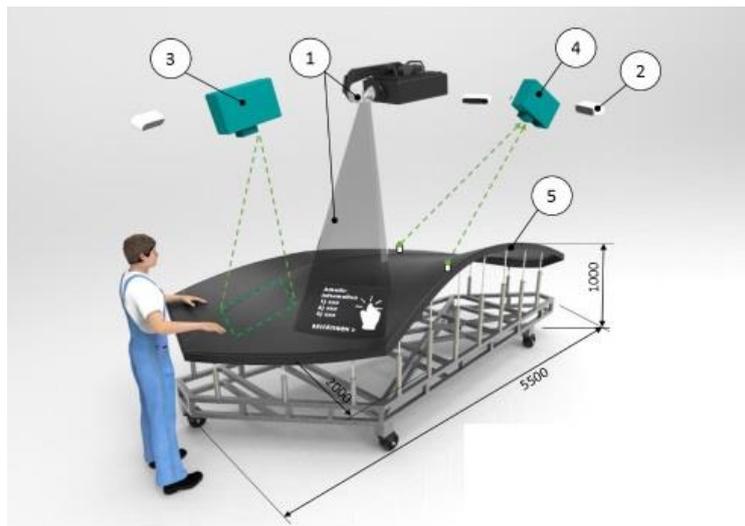


Abbildung 49: Aufbau am Demonstrator Winglet-Montage<sup>21</sup>

Folgende technischen Geräte sind zu sehen (siehe Nummerierung in Abbildung 49):<sup>22</sup>

- 1) Dynamische Projektion durch Projektionssystem
- 2) Kameras, welche der Interaktion durch Bilderkennung dienen
- 3) Lasersystem, welches Konturen für das Layout der Matten auf das Winglet-Werkzeug projiziert
- 4) Trackingsystem
- 5) Winglet-Werkzeug

<sup>21</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

<sup>22</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

Natürlich kann man gewissermaßen die Kameras für die Interaktion sowie das Trackingsystem zum dynamischen Projektionssystem zählen, da erst durch diese eine kontextsituative Projektion der Arbeitsinformationen ermöglicht wird. Ohne diese beiden technischen Komponenten kann lediglich eine vorab erstellte „Show“ abgespielt werden. D.h., dass im Vorhinein bestimmte Positionen ausgesucht werden, an welche zu festgelegten Zeitpunkten für eine bestimmte Dauer die Arbeitsinformationen projiziert werden. Die Arbeitsinformationen werden ohne Interaktion und Tracking sozusagen nicht „intelligent“ angezeigt. Nichtsdestotrotz werden im Zuge dieser Diplomarbeit die Kameras für die Interaktion und das Lasertrackingsystem nicht zum eigentlichen dynamischen Projektionssystem gezählt.

Folgende technische Komponenten zählen zum dynamischen Projektionssystem, welches in der Pilotfabrik aufgebaut ist:

#### 1) Projektor mit DMX

Beim Projektor handelt es sich um einen leistungsstarken Laserprojektor der Marke *Panasonic* (Modellnummer: RZ 660 WUXGA). Zusätzlich ist auf diesem Projektor der DMX montiert, also der Spiegelkopf, welcher durch eine Steuereinheit mit Schrittmotor beliebig verstellt werden kann.<sup>23</sup>

Der Projektor projiziert den virtuellen Inhalt auf den Spiegel, wodurch die Projektion auf eine beliebige Stelle geleitet wird. Somit kann eine dynamische Projektion realisiert werden. Abbildung 51 zeigt eine solche Projektion, welche über den Spiegel auf eine definierte Stelle am Winglet-Werkzeug geleitet wird.



Abbildung 50: Projektor mit Spiegelkopf<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

<sup>24</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

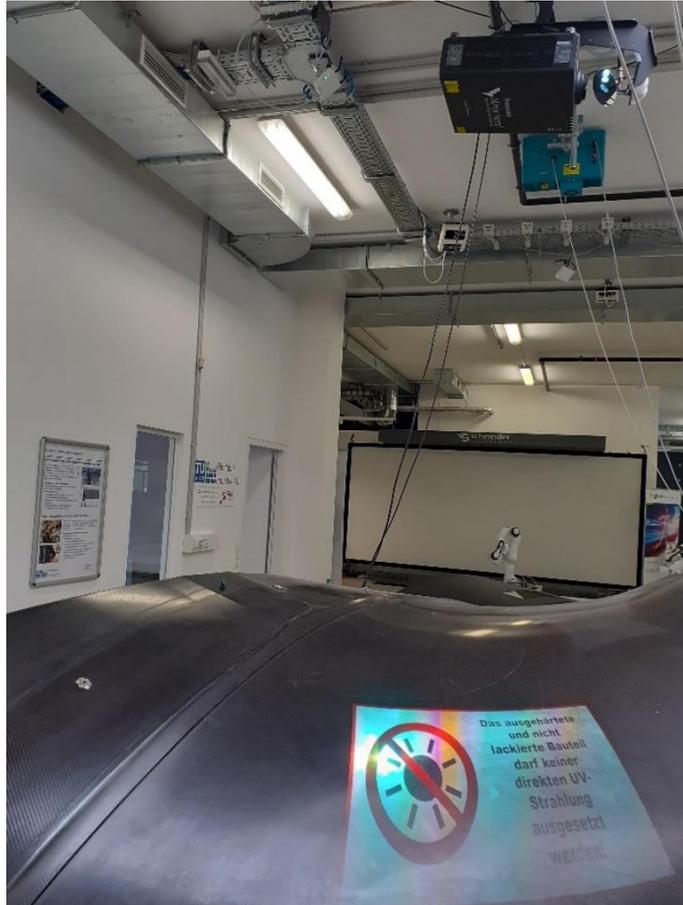


Abbildung 51: Projektor projiziert ein Piktogramm über den Spiegel auf das Winglet-Werkzeug<sup>25</sup>

## 2) MDC-X Media Server

Der MDC-X Media Server ist eine Kombination aus Hardware und Software, um die Medien, welche projiziert werden sollen, den Spiegelkopf und anderen Output zu kontrollieren. Dabei können bspw. Medien – wie Bilder – importiert und manipuliert, Geometrien korrigiert oder Projektionsshows erstellt werden.<sup>26</sup> Das System ist dabei Linux-basiert. Die Piktogramme oder Textanweisungen können einfach via USB-Stick importiert werden und sollten dabei in einem üblichen Bildformat – wie JPEG oder PNG – abgespeichert sein.

<sup>25</sup> Quelle: eigene Fotografie

<sup>26</sup> Quelle: Dynamic Projection Institute GmbH, <https://www.dynamicprojection.com/mdc-en/> [zugegriffen am: 09.09.2019]



Abbildung 52: Rechner MDC-X2<sup>27</sup>

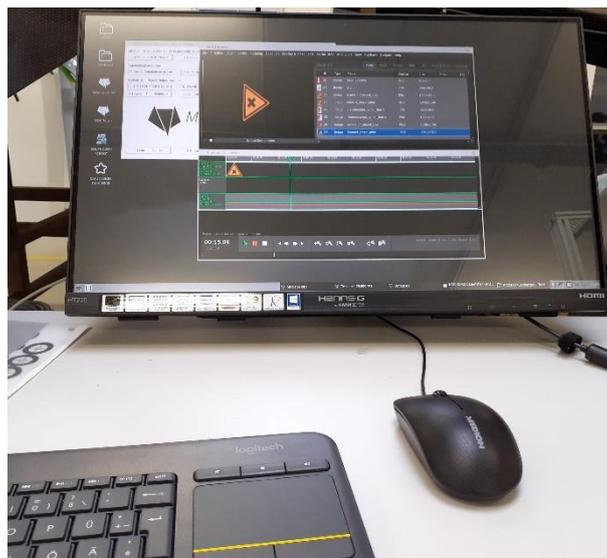


Abbildung 53: Benutzeroberfläche des MDC-X Media Servers<sup>28</sup>

### 3) JCD

Diese Komponente stellt das Verbindungsglied zwischen dem Projektor und einem interaktiven *Internet of Things*-System dar.<sup>29</sup> Via WLAN oder LAN kann man über ein Webinterface Einstellungen am Projektor steuern. Die Einstellungen können bspw. den Zoom oder Fokus betreffen oder die Kalibrierung dieser Einstellungen. Somit

<sup>27</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

<sup>28</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

<sup>29</sup> Quelle: Dynamic Projection Institute GmbH, <https://www.dynamicprojection.com/jcd-en/> [zugegriffen am: 09.09.2019]

können unabhängig vom Rechner oder der Fernbedienung Einstellungen am Projektor vorgenommen werden.

#### 4) Switch

Der Switch stellt die Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen MDC-X, JCD, Projektor und Spiegelkopf dar.<sup>30</sup>

## 9.2 Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen am Winglet-Werkzeug

Die in Kapitel 8 gestalteten intuitiven Arbeitsinformationen werden in verschiedensten Versuchen direkt am Winglet-Werkzeug der Pilotfabrik mittels des dynamischen Projektionssystems bereitgestellt. Die Mehrheit der intuitiven Informationen kann dabei sehr gut erkannt werden, wodurch keine Veränderungen an der Gestaltung mehr vorgenommen werden müssen. Allerdings können die Einzelzeichen der warnenden intuitiven Informationen nicht gut von der dunklen Oberfläche des Winglet-Werkzeuges unterschieden werden. An diesen Zeichen werden folglich Veränderungen vorgenommen, welche die Farbe und den Kontrast betreffen. Somit soll eine bessere Erkennbarkeit gewährleistet werden.

Allgemein kann man die Größe und Verzerrung der Projektionen per MDC-X Media Server verändern, wodurch man eine optimale Einstellung je nach Anwendungsfall einstellen kann. Auch der Ort, an dem die Projektion erscheinen soll, kann eingestellt werden, wobei viele Positionen durch die Verstellbarkeit des Spiegels abgedeckt sind. Zoom und Fokus können via JCD eingestellt werden. Allerdings kann bzgl. des Zooms, des Fokus und der Verzerrung keine allgemein gültige Aussage getroffen werden, da diese Einstellungen an jedem anderen Projektionsort am Winglet-Werkzeug andere optimale Werte aufweisen. Die glatte, glänzende und gewellte Oberfläche des Winglet-Werkzeuges sorgt für ein unterschiedliches Erscheinungsbild der Projektionen, je nach Projektionsort und Standpunkt des Betrachters.

Folglich werden die Bereitstellungen der intuitiven Informationen am Winglet-Werkzeug gezeigt, wobei einfach Fotografien von den bereitgestellten intuitiven Informationen gemacht werden. Die durch die Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen, welche nach den Farbempfehlungen der DIN 4844-1 (2012, S. 9) gestaltet wurden, entstehenden Analysen, Gedanken und Folgerungen sind ebenfalls zusammengefasst. Die bereitgestellten intuitiven Informationen sind auf den Fotografien, welche in der Pilotfabrik gemacht wurden, schlechter zu erkennen, als dies in der Realität der Fall ist. Dies liegt vor allem an der Kamera, welche verwendet

---

<sup>30</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

wurde, sowie an der extremen Lichtspiegelung durch die glatte und dunkle Oberfläche des Winglet-Werkzeuges.

### 9.2.1 Bereitstellung der verbotenden intuitiven Arbeitsinformationen

Die Projektionen der verbotenden intuitiven Arbeitsinformationen können am Winglet-Werkzeug gut erkannt werden. Die rote Umrandung der Zeichen hebt sich von der dunklen Oberfläche des Winglet-Werkzeuges gut ab, was vor allem für das Erkennen der Einzelzeichen wichtig ist. Auch die weiße Farbe des inneren Teiles der Einzel- und Kombinationszeichen kann hervorragend vom dunklen Untergrund unterschieden werden. Dies führt zu einer ausgezeichneten Lesbarkeit der erklärenden Texte in schwarzer Farbe, welche bei den Kombinationszeichen verwendet werden.

Aus diesen Gründen wurden an den verbotenden intuitiven Informationen keine Veränderungen mehr vorgenommen. Das Design der Verbotsszeichen, welches in Kapitel 8 angeführt ist, eignet sich voll und ganz, um die Verbotsszeichen am Winglet-Werkzeug gut zu erkennen.

Die folgenden Abbildungen sollen die Bereitstellung der intuitiven verbotenden Arbeitsinformationen zeigen.



Abbildung 54: Bereitstellung UV-Schutz Einzelzeichen

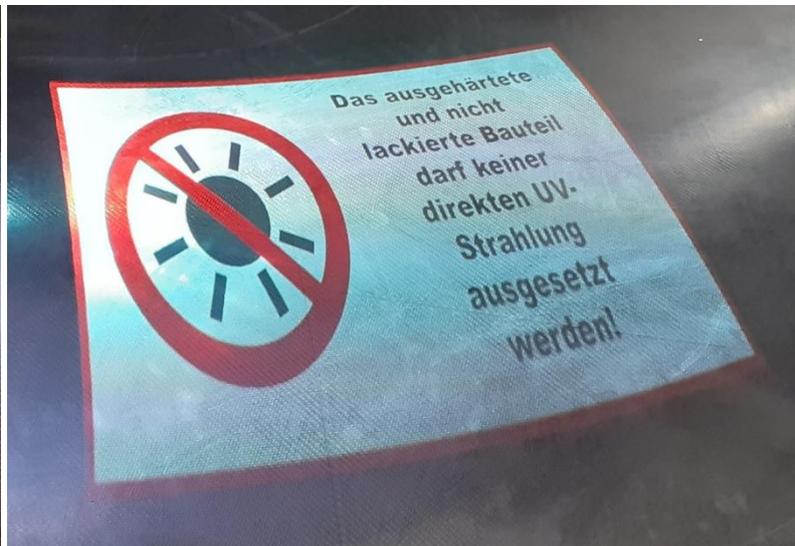


Abbildung 55: Bereitstellung UV-Schutz Kombinationszeichen

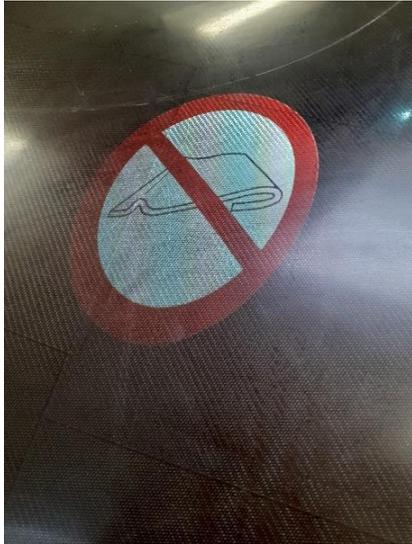


Abbildung 56: Bereitstellung Falten und Verknitterungen Einzelzeichen

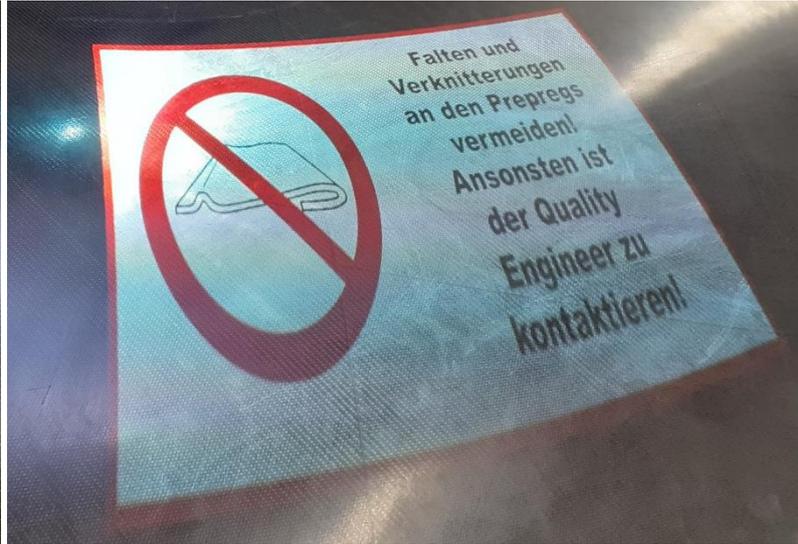


Abbildung 57: Bereitstellung Falten und Verknitterungen Kombinationszeichen

## 9.2.2 Bereitstellung der gebietenden intuitiven Arbeitsinformationen

Auch die gebietenden intuitiven Arbeitsformationen, deren Gestaltung in Kapitel 8 angeführt ist, können als dynamische Projektion auf dem Winglet-Werkzeug sehr gut erkannt werden. Da sich die weiße Farbe der Symbole vom blauen Grund der Zeichen hervorragend abhebt, können die Symbole ohne Probleme erkannt werden. Auch der schwarze Text der zusätzlichen Informationen auf den Kombinationszeichen kann ohne Probleme gelesen werden. Trotzdem wird in Abbildung 59 ein anderes Design gezeigt. In dieser Abbildung wurde ein etwas kräftigeres Blau verwendet (RGB-Wert: 0/0/183). Außerdem wurde das Einzelzeichen mit einer weißen Umrandung erweitert, wodurch sich das Einzelzeichen noch besser vom Grund abheben soll. Da aber das ursprüngliche Design ohne Probleme erkannt werden kann, wird in weiterer Folge mit dem Design nach Kapitel 8 weitergearbeitet. Deshalb sind auch die Arbeitsanweisungen in Abbildung 60 bis Abbildung 64 mit dem ursprünglichen Design abgebildet.



Abbildung 58: Bereitstellung Föhn Einzelzeichen – Ursprüngliches Design



Abbildung 59: Bereitstellung Föhn Einzelzeichen – Anderes Design

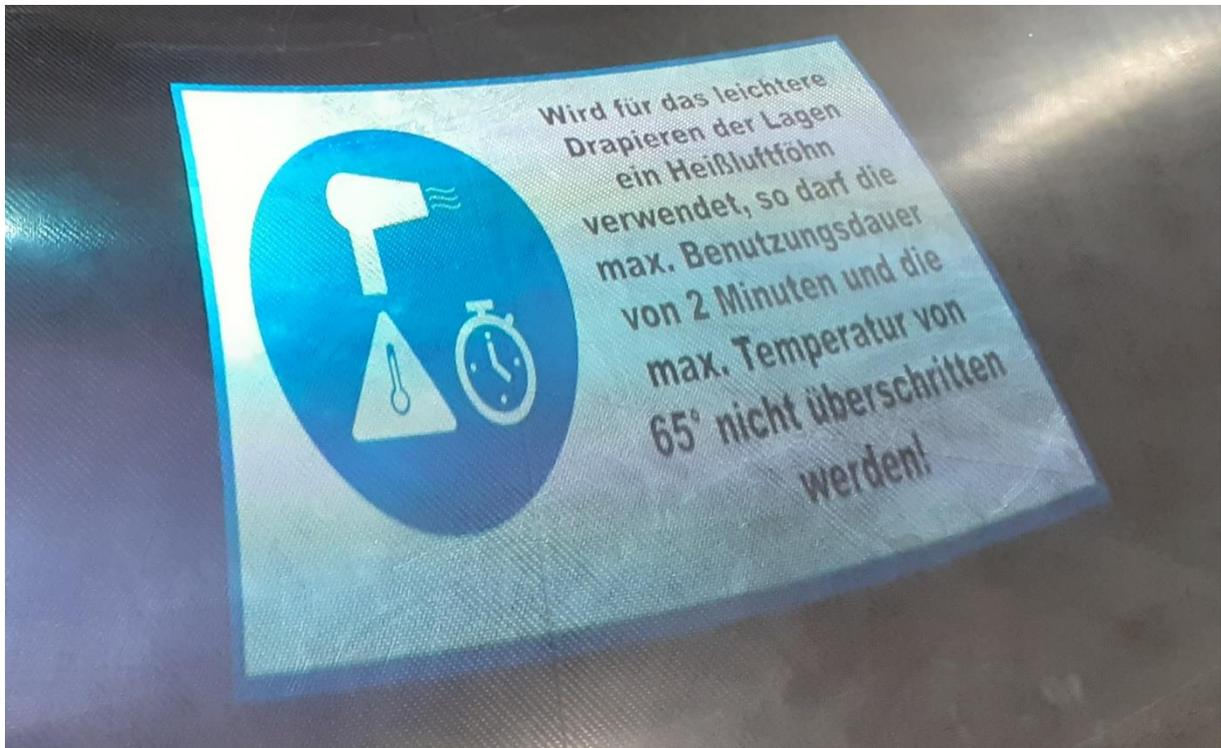


Abbildung 60: Bereitstellung Föhn Kombinationszeichen



Abbildung 61: Bereitstellung Schneiden Einzelzeichen

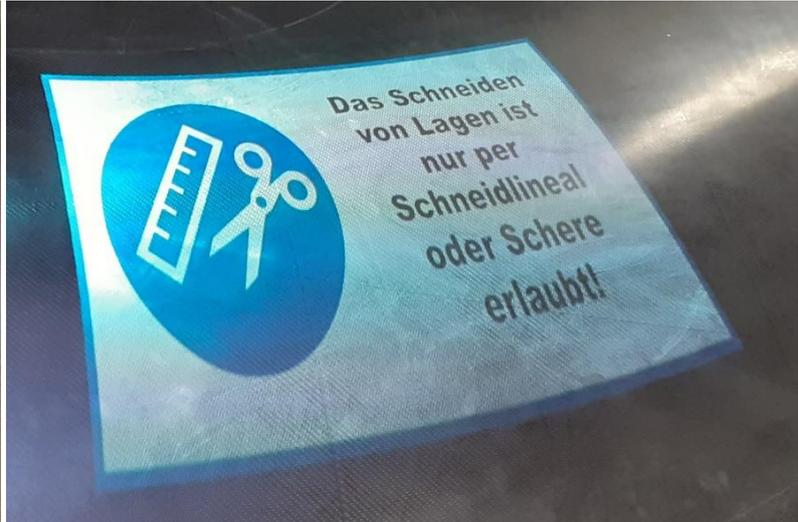


Abbildung 62: Bereitstellung Schneiden Kombinationszeichen



Abbildung 63: Bereitstellung Handschutz Einzelzeichen



Abbildung 64: Bereitstellung Handschutz Kombinationszeichen

### 9.2.3 Bereitstellung der warnenden intuitiven Arbeitsinformationen

Bei den warnenden intuitiven Arbeitsinformationen taucht das Problem auf, dass die schwarze Umrandung der Einzelzeichen nicht gut erkannt und von der dunklen Oberfläche des Winglet-Werkzeuges unterschieden werden kann. Ein gelbes Dreieck mit einer schwarzen Umrandung wird als Warnzeichen wahrgenommen. Wenn allerdings lediglich das gelbe Dreieck erkannt werden kann, so wird dies nicht unbedingt mit einem Warnzeichen assoziiert. Um die schwarze Umrandung besser erkennen zu können und somit das gesamte Warnzeichen besser zur Geltung zu bringen, wurde das ursprüngliche Einzelzeichen mit einem gelben Streifen umrandet. Somit hebt sich das ganze Einzelzeichen besser vom Untergrund ab. An den Kombinationszeichen wurden keine Veränderungen vorgenommen. Der gelbe Grund der Zeichen hebt sich gut von der Oberfläche des Winglet-Werkzeuges ab, wodurch die schwarzen Symbole und Schriften gut gesehen bzw. gelesen werden können.



Abbildung 65: Bereitstellung Explosion Einzelzeichen - Ursprüngliches Design



Abbildung 66: Bereitstellung Explosion Einzelzeichen - Neues Design



Abbildung 67: Bereitstellung Explosion Kombinationszeichen



Abbildung 68: Bereitstellung Hautkontakt Einzelzeichen

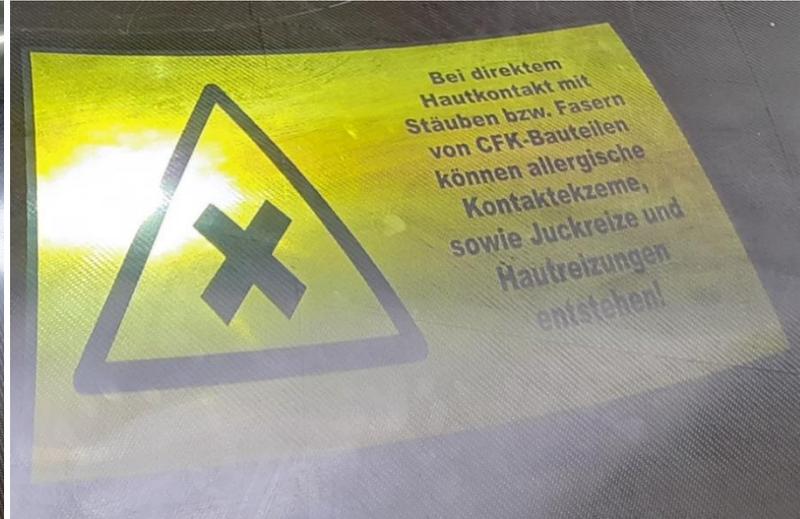


Abbildung 69: Bereitstellung Hautkontakt Kombinationszeichen



Abbildung 70: Bereitstellung Hautkontakt mit Handschutz Kombinationszeichen

## 9.2.4 Bereitstellung der Brandschutzzeichen

Die Brandschutzzeichen „Feuerlöscher“ und „Brandmelder“ wurden nicht auf das Winglet-Werkzeug projiziert, da diese den Ort eines Feuerlöschers oder Brandmelders anzeigen, welcher sich nicht auf einem Winglet-Werkzeug befinden kann. Stattdessen wurden diese Zeichen auf eine weiße Wand in der Pilotfabrik projiziert, welche sich unmittelbar neben dem Winglet-Werkzeug befindet. Die Zeichen können gut erkannt werden, womit keine Veränderungen notwendig sind. Lediglich die Streifen, welche auf Abbildung 71 bis Abbildung 74 leicht erkannt werden können, stören ein wenig.

Diese können nicht gänzlich vermieden werden und entstehen durch leichte Schwingungen, welche vorhanden sind.



Abbildung 71: Bereitstellung Feuerlöscher Einzelzeichen



Abbildung 72: Bereitstellung Feuerlöscher Kombinationszeichen



Abbildung 73: Bereitstellung Brandmelder Einzelzeichen



Abbildung 74: Bereitstellung Brandmelder Kombinationszeichen

### 9.2.5 Bereitstellung der Rettungszeichen

Folgende Rettungszeichen, welche auf das Winglet-Werkzeug projiziert wurden, sollen die Richtung eines Fluchtweges anzeigen. Die grüne Farbe dieser Zeichen hebt sich hervorragend vom dunklen Untergrund ab. Die Zeichen können ohne Mühe intuitiv verstanden werden. Es sind keine Veränderungen zum ursprünglichen Design notwendig.



Abbildung 75: Bereitstellung Fluchtweg in Richtung "rechts"



Abbildung 76: Bereitstellung Fluchtweg in Richtung "links"

### 9.2.6 Bereitstellung der kurzen Textanweisungen

Auch die textuellen Arbeitsanweisungen, welche in der Form von Kombinationszeichen gestaltet sind, können – wie alle bisherigen Kombinationszeichen – ohne Probleme gelesen und verstanden werden. Die

Arbeitsanweisung bzgl. der Gefahr von Fremdpartikeln sollte den Mitarbeitern vor Benutzung erklärt werden, wohingegen die Arbeitsanweisung bzgl. des Layup auch von unerfahrenen Mitarbeitern verstanden werden wird.



Abbildung 77: Bereitstellung FOD

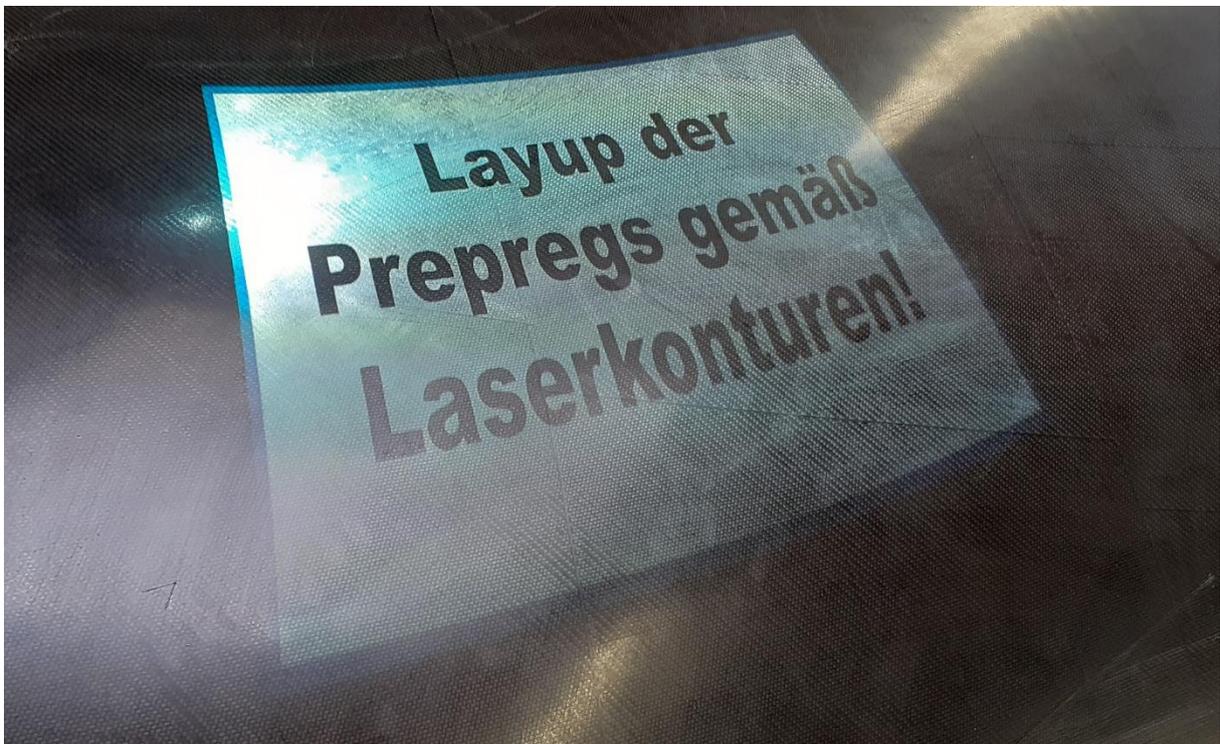


Abbildung 78: Bereitstellung Layup

## 10 Evaluierung der Bereitstellung der Arbeitsinformationen

In diesem Kapitel wird eine Evaluierung durchgeführt, um herauszufinden, ob eine Informationsbereitstellung durch eine intuitive Informationssprache, welche mittels eines dynamischen Projektionssystems auf dem Winglet-Werkzeug bereitgestellt wird, im Vergleich zur herkömmlichen Informationsbereitstellung mittels Dokumenten einen Mehrwert für Mitarbeiter und Unternehmen bietet.

Die Nutzwertanalyse folgt dabei dem Ablauf, welcher in Kapitel 7 beschrieben ist. Folgend wird jeder der notwendigen Schritte der Nutzwertanalyse ausgeführt und beschrieben.

### 1) Benennung des Entscheidungsproblems

Beim Entscheidungsproblem dieser Nutzwertanalyse handelt es sich um die Frage, welche Art der Informationsbereitstellung bei der Winglet-Montage den größeren Nutzen für Mitarbeiter und Unternehmen aufweist. Die Ziele, welche mit der Informationsbereitstellung verfolgt werden, sind in Tabelle 13 aufgelistet.

Entscheidungsproblem: Rangfolge/ Priorisierung	Ziele
Sortierung der Arten der Informationsbereitstellung nach Nutzen durch Ermittlung einer Nutzwerte-Rangordnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimierung der Kosten</li> <li>• Die Informationsbereitstellung soll den Prozessablauf verbessern.</li> <li>• Die Informationsbereitstellung soll die Mitarbeiter beim Lernen und bei der Entwicklung unterstützen.</li> <li>• Die Informationsbereitstellung soll ergonomisch sein, ihren Zweck erfüllen, die Mitarbeiter begeistern und von den Mitarbeitern akzeptiert werden.</li> </ul>

Tabelle 13: Entscheidungsproblem und Ziel der Nutzwertanalyse

### 2) Auswahl der Entscheidungsalternativen

Zur Auswahl stehen die Informationsbereitstellung per Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs sowie die Informationsbereitstellung per intuitiver Informationssprache, welche als dynamische Projektion auf dem Winglet-Werkzeug bereitgestellt wird.

Alternative 1:

Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs
---

Alternative 2:

Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems

Als Beispiel soll folgende Arbeitsinformation betrachtet werden:

Wird für das leichtere Drapieren der Lagen ein Heißluftföhn verwendet, so darf die max. Benutzungsdauer von 2 Minuten und die max. Temperatur von 65° nicht überschritten werden!

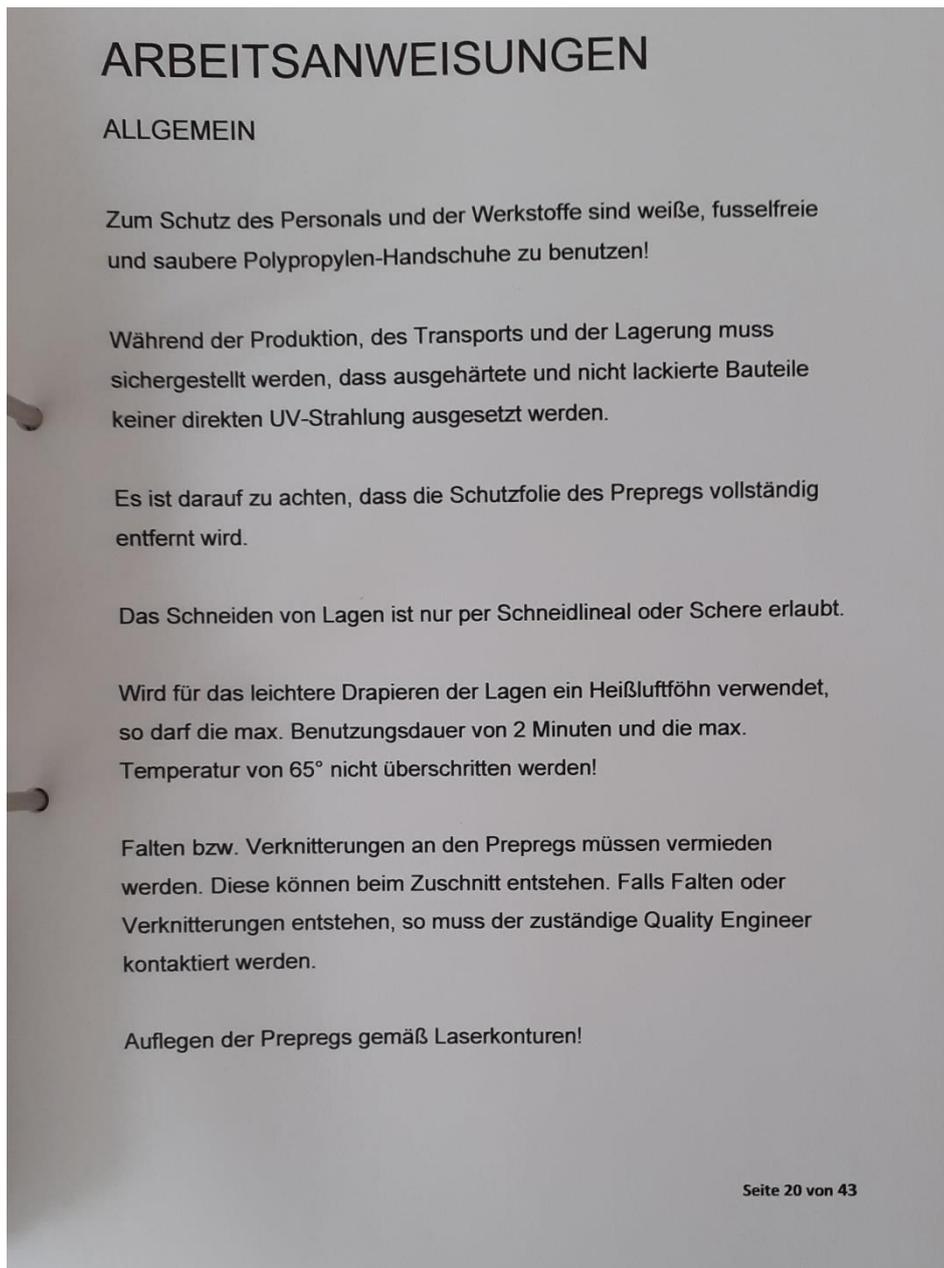


Abbildung 79: Bereitstellung der Arbeitsinformation "Föhn" mittels eines Papierdokumentes<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

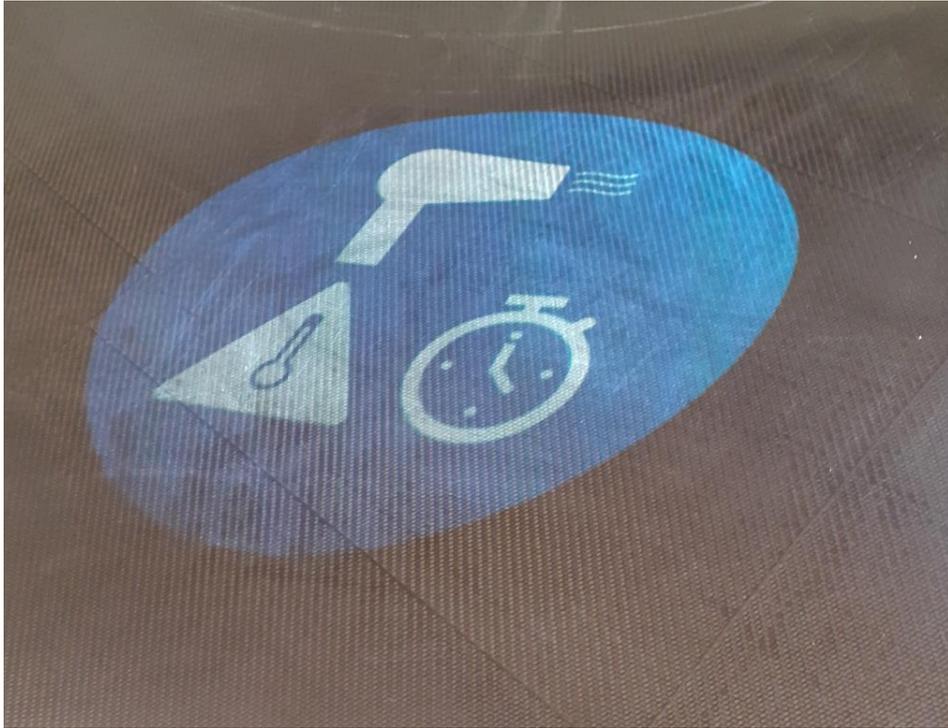


Abbildung 80: Bereitstellung der Arbeitsinformation „Föhn“ als Einzelzeichen mittels eines dynamischen Projektionssystems

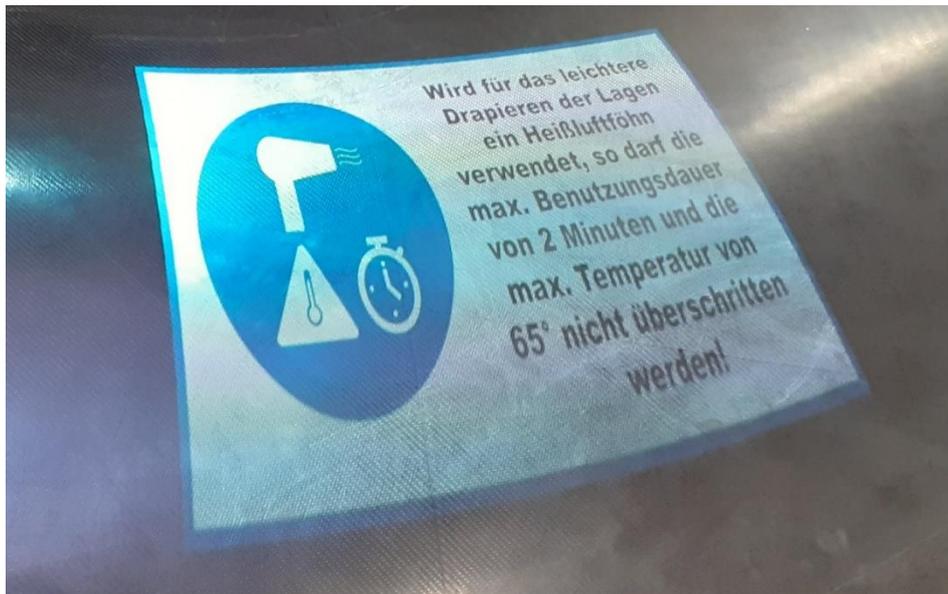


Abbildung 81: Bereitstellung der Arbeitsinformation „Föhn“ als Kombinationszeichen mittels eines dynamischen Projektionssystems

### 3) Sammlung von Entscheidungskriterien

Die Kriterien, welche im Zuge dieser Nutzwertanalyse bewertet werden, werden in folgende Kategorien aufgeteilt:

- 1) Kosten
- 2) Prozess
- 3) Lernen und Entwicklung

## 4) Mitarbeiter

Folgend werden jeder Kategorie Unterkategorien bzw. Bewertungskriterien zugeordnet. In den meisten Fällen ist die Unterkategorie mit dem Bewertungskriterium ident (z.B. sind die *Kosten der Systemeinführung* sowohl Unterkategorie als auch Bewertungskriterium). Nur bei den Unterkategorien *Produktivität* und *Gestaltungsgrundsätze* ist dies nicht der Fall. Diese Unterkategorien werden in andere Bewertungskriterien unterteilt (d.h. das bspw. nicht die Produktivität direkt bewertet wird, sondern deren Bewertungskriterien *Suchzeit*, *Wegzeit*, etc.).

- **Kosten:**

- Produktivität
  - Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten (Können neben der Informationsaufnahme auch wertschöpfende Tätigkeiten durchgeführt werden?)
  - Vermeidung verschwendender Körperbewegungen (Hinwenden, Blättern oder Scrollen)
  - Suchzeit
  - Wegzeit
- Kosten der Systemeinführung
- Laufende Kosten

- **Prozess**

- Qualität (Kann die Produktqualität erhöht bzw. die Fehleranzahl verringert werden?)
- Abgleich der Informationen mit dem Prozess (Passen die Informationen zum Prozess? Kann die Information kontextsituativ bereitgestellt werden?)
- Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung (Zeit, die für die Änderung und Bereitstellung der neuen Arbeitsinformation gebraucht wird, wenn sich der Prozess spontan ändert/ Kann die Prozessänderung gut und schnell erkenntlich gemacht werden?)

- **Lernen und Entwicklung**

- Einschulungsdauer
- Qualifikation (Kann die Alternative von Mitarbeitern mit unterschiedlicher Qualifikation verwendet werden? Kann die Alternative an die jeweilige Qualifikation angepasst werden?)

- **Mitarbeiter**

- Gestaltungsgrundsätze
  - Entdeckbarkeit
  - Ablenkungsfreiheit
  - Unterscheidbarkeit
  - Eindeutige Interpretierbarkeit
  - Kompaktheit

- Konsistenz
  - Usability (Erfüllt die Alternative den Zweck?)
  - User Experience (Kommt bei der Benutzung der Alternative Begeisterung auf?)
  - Nutzerakzeptanz
  - Ergonomische Belastung

#### 4) Gewichtung der Entscheidungskriterien

Die ausgewählten Kategorien und Unterkategorien bzw. Entscheidungskriterien müssen gewichtet werden. So wird die Wichtigkeit der Kategorien und der Unterkategorien bzw. Entscheidungskriterien festgelegt.

Tabelle 14 zeigt die vorgenommene Gewichtung der Kategorien und in Tabelle 15 ist die Gewichtung der Unterkategorien bzw. Kriterien ersichtlich.

Kategorie	Gewicht [%]
Kosten	40
Prozess	15
Lernen und Entwicklung	10
Mitarbeiter	35
<b>Summe</b>	<b>100</b>

**Tabelle 14: Gewichtung der Kategorien der Nutzwertanalyse**

Kategorie	Kategoriegewicht [%]	Unterkategorie	Unterkategoriegewicht [%]	Kriterium	Kriteriumgewicht innerhalb der Unterkategorie [%]	Gesamtgewicht des Kriteriums [%]
Kosten	40	Produktivität	45	Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten	25	4,5
				Vermeidung verschwendender Körperbewegungen	25	4,5
				Suchzeit	25	4,5
				Wegzeit	25	4,5
		Kosten der Systemeinführung	45	Kosten der Systemeinführung	100	18
Prozess	15	Laufende Kosten	10	Laufende Kosten	100	4
		Qualität	40	Qualität	100	6
		Abgleich der Informationen mit dem Prozess	30	Abgleich der Informationen mit dem Prozess	100	4,5
Lernen und Entwicklung	10	Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung	30	Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung	100	4,5
		Einschulungsdauer	50	Einschulungsdauer	100	5
Mitarbeiter	35	Qualifikation	50	Qualifikation	100	5
				Gestaltungsgrundsätze	20	Entdeckbarkeit
		Ablenkungsfreiheit	14			0,98
		Unterscheidbarkeit	14			0,98
		Eindeutige Interpretierbarkeit	30			2,1
		Kompaktheit	14			0,98
		Konsistenz	14			0,98
		Usability	20	Usability	100	7
		User Experience	20	User Experience	100	7
		Nutzerakzeptanz	20	Nutzerakzeptanz	100	7
Ergonomische Belastung	20	Ergonomische Belastung	100	7		
<b>Summe</b>	<b>100</b>					<b>100</b>

**Tabelle 15: Gewichtung der Kriterien der Nutzwertanalyse**

## 5) Bewertung der Entscheidungskriterien

Nun werden die Entscheidungskriterien bewertet, wobei eine 10er-Skala verwendet wird. Jedem ausgewählten Kriterium wird ein Punktwert zwischen 1 bis 10 zugeordnet. Je höher der Punktwert, desto positiver wird das Kriterium bewertet. Eine genauere Erklärung der Bedeutung der Punktwerte ist in Tabelle 16 angeführt.

Punkte	Bedeutung
0	Das Kriterium ist nicht erfüllt/ Der Wert des Kriteriums ist sehr hoch oder sehr niedrig, was sich sehr negativ auswirkt.
1-3	Das Kriterium ist unzureichend erfüllt und nur mit erheblichen Mängeln erfüllt/ Der Wert des Kriteriums ist hoch oder niedrig, was sich negativ auswirkt.
4-6	Das Kriterium ist hinreichend, aber mit Mängeln erfüllt/ Der Wert des Kriteriums ist im mittleren Bereich und wirkt sich weder positiv noch negativ (Punktwert 5) bzw. leicht positiv (Punktwert 6) oder leicht negativ (Punktwert 4) aus.
7-9	Das Kriterium ist in gutem Umfang erfüllt/ Der Wert des Kriteriums ist hoch oder niedrig, was sich positiv auswirkt.
10	Das Kriterium ist in sehr gutem Umfang erfüllt/ Der Wert des Kriteriums ist sehr hoch oder sehr niedrig, was sich sehr positiv auswirkt.

Tabelle 16: Bedeutung der Punktwerte

- Kosten

- Produktivität

- Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten

Damit die Mitarbeiter die Informationen aufnehmen können, müssen sie bei einer Informationsbereitstellung, welche durch Dokumente abgewickelt wird, in den Mappen und Zetteln bzw. den Dokumenten am PC nach den Informationen suchen. Dadurch sind die Hände nicht frei und es kann keine wertschöpfende Tätigkeit durchgeführt werden. Hingegen reicht bei der Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion ein einziger Blick, um Informationen aufzunehmen. Die Hände sind frei und der Mitarbeiter kann während der Informationsaufnahme wertschöpfende Tätigkeiten ausführen.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten	0

Tabelle 17: Bewertung der Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten für Alternative 1

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten	9

**Tabelle 18: Bewertung der Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten für Alternative 2**

- Vermeidung verschwendender Körperbewegungen

Wie auch schon bei der Bewertung des vorherigen Kriteriums beschrieben, müssen die Mitarbeiter in Dokumenten aktiv nach den Informationen suchen. Die Mitarbeiter müssen die Papierdokumente in die Hand nehmen und in den Mappen blättern bzw. am PC das Dokument öffnen und im Dokument scrollen. Dies führt zu einer Vielzahl an verschwendeten Körperbewegungen dar.

Bei einer Informationsbereitstellung per dynamischer Projektion reicht – falls die Information an der optimalen Stelle des Wingleet-Werkzeuges platziert werden kann – eine einzige Kopfbewegung, um die Information im Blick zu haben. Nur falls die Projektion nicht auf die optimale Stelle projiziert wird, kann es sein, dass sich der Mitarbeiter anders positionieren muss, um die Information zu erblicken.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Vermeidung verschwendender Körperbewegungen	0

**Tabelle 19: Bewertung der Vermeidung verschwendender Körperbewegungen für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Vermeidung verschwendender Körperbewegungen	7

**Tabelle 20: Bewertung der Vermeidung verschwendender Körperbewegungen für Alternative 2**

- Suchzeit

Die Suchzeit nach den richtigen Informationen kann bei einer Informationsbereitstellung per Dokumente enorm hoch sein. Falls die Dokumente nicht ordentlich geordnet sind oder sehr viele Seiten aufweisen, so kann die Suche nach der richtigen Information lange dauern. Die Suchzeit nach der korrekten Information entfällt bei einer dynamischen Projektion komplett, es wird nur eine einzige intuitive Information angezeigt.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Suchzeit	1

**Tabelle 21: Bewertung der Suchzeit für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Suchzeit	10

Tabelle 22: Bewertung der Suchzeit für Alternative 2

- Wegzeit

Nicht immer sind Papierdokumente in der Nähe des Arbeitsplatzes gelagert. Auch die PCs werden meistens an einer zentralen Position des Produktionsbereiches aufgestellt sein, damit diese von mehreren Arbeitsbereichen benutzt werden können. Dies kann zu weiten Wegstrecken und hohen Wegzeiten führen, um überhaupt an die Informationsquellen zu gelangen.

Die Wegstrecke, um die Information erblicken zu können, wird bei einer Bereitstellung von intuitiven Informationen durch dynamische Projektion maximal einige Meter betragen, falls der Projektionsort nicht optimal mit dem Prozess abgestimmt ist.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Wegzeit	2

Tabelle 23: Bewertung der Wegzeit für Alternative 1

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Wegzeit	8

Tabelle 24: Bewertung der Wegzeit für Alternative 2

- Kosten der Systemeinführung

Die Kosten, welche für die Einführung einer Informationsbereitstellung per Dokumente anfallen, können als gering angesehen werden. Bei Papierdokumenten fallen Papier- und Druckkosten an, bei Dokumenten auf PCs muss ein PC zur Verfügung stehen. Allerdings muss dies kein sehr leistungsfähiger PC sein. Solche Computer sind bereits ab einigen hundert Euro erhältlich. Außerdem können auch PCs verwendet werden, welche von anderen Abteilungen nicht mehr benötigt werden. Für die Einführung dieser Form der Informationsbereitstellung ist kein besonderes Wissen nötig.

Hingegen muss für die Beschaffung der Komponenten eines Projektionssystems mit Beträgen zwischen 10.000 € und 15.000 € gerechnet werden.<sup>32</sup> Die tatsächlichen Kosten hängen stark vom Projektor ab, welcher eingesetzt werden soll. Außerdem stellt Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion eine weitaus komplexere Form der Informationsbereitstellung dar, bei der ein fachspezifisches Wissen durchaus benötigt wird. So muss vor Beschaffung eines Projektionssystems wohl mit Kosten für

<sup>32</sup> Quelle: Forschungsbereich HCCPPAS, IMW, TU Wien

Beratungen durch Experten gerechnet werden bzw. mit Kosten für Mitarbeiter, welche sich explizit mit der Einführung eines dynamischen Projektionssystems beschäftigen.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Kosten der Systemeinführung	9

**Tabelle 25: Bewertung der Kosten der Systemeinführung für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Kosten der Systemeinführung	0

**Tabelle 26: Bewertung der Kosten der Systemeinführung für Alternative 2**

- Laufende Kosten

Papierdokumente müssen laufend aktualisiert werden, wodurch Druckkosten und Kosten für Papier anfallen. Allerdings werden sich diese Kosten in einem kleinen Rahmen bewegen. Für die Informationsbereitstellung auf einem PC wird eine geringe Menge an Strom verbraucht, welche preislich nicht sonderlich ins Gewicht fallen wird. Bei einer dynamischen Projektion fallen ebenfalls geringe Stromkosten an.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Laufende Kosten	8

**Tabelle 27: Bewertung der laufenden Kosten für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Laufende Kosten	8

**Tabelle 28: Bewertung der laufenden Kosten für Alternative 2**

- Prozess

- Qualität

Informationen, welche durch Dokumente bereitgestellt werden, teilen dem Mitarbeiter lediglich mit welche Tätigkeiten zu welchem Zeitpunkt durchzuführen sind. Der Mitarbeiter liest sich die Informationen durch und wird beginnen die Tätigkeiten durchzuführen. Dokumente können die Fehleranzahl, welche bei der Durchführung dieser Tätigkeiten auftritt, nur bedingt beeinflussen. Falls der Mitarbeiter einen Fehler macht, haben Dokumente keine Möglichkeit dem Mitarbeiter dies mitzuteilen, da es sich bei Dokumenten um keine interaktiven Systeme handelt. Einzig kann der Mitarbeiter selbst seinen Fehler bemerken, indem er seine Vorgehensweise in den Dokumenten überprüft und mit dem vorgegeben Weg abgleicht.

Ähnlich verhält es sich bei einer dynamischen Projektion, welche die Informationen durch eine vorab erstellte „Show“ bereitstellt. Bei einer solchen Bereitstellung handelt es sich ebenfalls um keine „intelligente“ Bereitstellung. Allerdings besteht bei einem dynamischen Projektionssystem sehr wohl die Möglichkeit dem Mitarbeiter kontextsituativ die Informationen bereitzustellen. Falls der Arbeitsbereich bspw. durch ein Kamerasystem überwacht wird und dieses Kamerasystem einen Fehler bemerkt – etwa, weil das System merkt, dass eine Schraube festgezogen wird, obwohl ein bestimmtes Teil noch nicht montiert wurde – so kann dem Mitarbeiter eine Fehlermeldung in den Sichtbereich projiziert werden. Dadurch können Fehler vermieden und die Qualität erhöht werden. Allerdings ist ein solches Konzept nicht einfach zu realisieren und in vielen Fällen wohl noch Utopie, vor allem im Bereich von komplexen Baustellenmontagen.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Qualität	3

**Tabelle 29: Bewertung der Qualität für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Qualität	7

**Tabelle 30: Bewertung der Qualität für Alternative 2**

- Abgleich der Informationen mit dem Prozess

Alle Prozessschritte können per Dokument abgebildet und bereitgestellt werden. Der Prozess kann dabei durch beliebig viel Text beschrieben werden. Auch die Abbildung von Tabellen oder Bildern ist kein Problem. Wie auch bei einer intuitiven Informationssprache muss der zuständige Ingenieur darauf achten, dass die Informationen zum Prozess passen. Allerdings ist es nur bei Nutzung eines dynamischen Projektionssystems möglich, kontextsituativ Informationen bereitzustellen, welche exakt auf den Prozessschritt abgestimmt sind. Bei Dokumenten muss die Information, welche zum jeweiligen Prozessschritt passt, selbst gesucht werden.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Abgleich der Informationen mit dem Prozess	5

**Tabelle 31: Bewertung des Abgleichs der Informationen mit dem Prozess für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Abgleich der Informationen mit dem Prozess	8

**Tabelle 32: Bewertung des Abgleichs der Informationen mit dem Prozess für Alternative 2**

- Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung

Um Dokumente zu ändern, muss wohl in etwa die gleiche Zeit aufgewendet werden, wie dies bei der Änderung von intuitiven Informationen der Fall ist. Zusätzlich müssen die alten Papierdokumente aus den Regalen entfernt werden bzw. die digitalen Dokumente vom PC gelöscht werden. Ein solches Entfernen ist bei einer dynamischen Projektion nicht notwendig.

Bei einem Projektionssystem besteht zusätzlich die Möglichkeit, dem Mitarbeiter sofort einen Hinweis in das Sichtfeld einzublenden, welcher auf die Änderung hinweist. So kann sichergestellt werden, dass die Mitarbeiter von der Änderung in Kenntnis gesetzt werden.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung	4

**Tabelle 33: Bewertung des schnellen Abwickelns einer Prozessänderung für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung	9

**Tabelle 34: Bewertung des schnellen Abwickelns einer Prozessänderung für Alternative 2**

- **Lernen und Entwicklung**

- Einschulungsdauer

Bei einer dokumentbasierten Informationsbereitstellung werden zumeist viele unterschiedliche Informationen in einem Dokument vermerkt. Liest man sich diese Vielzahl an Informationen durch, so ist es schwierig, sich sofort alle Informationen zu merken. Vor allem neue Mitarbeiter können durch die Fülle an neuen Informationen schnell überfordert werden.

Eine intuitive Informationssprache, welche genau zum richtigen Zeitpunkt in das Blickfeld eingeblendet wird, kann vor allem diesen neuen Mitarbeitern helfen, die Vorgehensweise des Montageprozesses zu erlernen. Neue Mitarbeiter müssen viel Zeit dafür aufwenden Dokumente zu lesen, um den Montageprozess zu verstehen.

Dadurch kommen sie unter Druck, weil ihnen diese Zeit oftmals nicht gewährt wird. Durch eine Informationsbereitstellung mittels dynamischer Projektion können sie die nötigen Montageschritte lernen, während sie wertschöpfende Tätigkeiten durchführen.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Einschulungsdauer	3

**Tabelle 35: Bewertung der Einschulungsdauer für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Einschulungsdauer	8

**Tabelle 36: Bewertung der Einschulungsdauer für Alternative 2**

- Qualifikation

Eine Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion kann von Mitarbeitern jeglicher Qualifikation ohne Probleme verwendet werden, da die projizierten Informationen intuitiv verständlich sind. Auch eine dokumentbasierte Informationsbereitstellung wird vom Großteil der Mitarbeiter genutzt werden können. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass einige Mitarbeiter eine Leseschwäche aufweisen können, oder dass manche Mitarbeiter aufgrund von Sprachproblemen die Texte nur mit Schwierigkeiten lesen und verstehen können. Für diese Mitarbeiter stellt eine intuitive Informationsbereitstellung eine erhebliche Erleichterung dar.

Großer Vorteil des dynamisches Projektionssystems ist, dass die intuitiven Informationen, welche auf das Wingleet-Werkzeug projiziert werden, an die Qualifikation und Erfahrung des jeweiligen Mitarbeiters angepasst werden können. Selbstverständlich könnte man dies auch bei Dokumenten machen, allerdings gibt es in der Praxis wohl meist nur eine einzige Version eines Dokumentes, welche die Qualifikation der Mitarbeiter nicht beachtet.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Qualifikation	4

**Tabelle 37: Bewertung der Qualifikation für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Qualifikation	8

**Tabelle 38: Bewertung der Qualifikation für Alternative 2**

- **Mitarbeiter**
  - Gestaltungsgrundsätze
    - Entdeckbarkeit

Bei einer dokumentbasierten Informationsbereitstellung ist es schwierig die Aufmerksamkeit gezielt auf die entscheidende prozessbezogene Information zu lenken. Durch die Vielzahl an Informationen, die in Dokumenten bereitgestellt sind, bleibt die sofortige Entdeckbarkeit der notwendigen Informationen beschränkt. Bei einer dynamischen Projektion, welche kontextsituativ die richtige Information intuitiv bereitstellt, entfällt das Problem der Erregung der Aufmerksamkeit auf die korrekte Information, da lediglich eine einzige Information – nämlich die richtige Information – bereitgestellt wird.

Allerdings kann bei der derzeitigen Form der intuitiven Informationssprache nicht wirklich zwischen wichtigen und unwichtigen Arbeitsinformationen unterschieden werden, da das Design nicht zwischen „wichtig“ und „unwichtig“ unterscheidet. Der Mitarbeiter kann die wirklich wichtigen Information also nicht entdecken. Hier liegt bei derzeitigem Design der intuitiven Informationen also ein Vorteil der dokumentbasierten Informationsbereitstellung, da die wirklich wichtigen Informationen bspw. mit roter Farbe umrahmt werden können, um sich so von den unwichtigen Informationen abheben zu können. Allerdings ist es durchaus möglich bei Bereitstellung von wichtigen intuitiven Informationen deren Wichtigkeit bspw. durch ein akustisches Signal zu untermauern.

Bzgl. der zeitlichen Abfolge der Informationsdarstellung sind beiden Alternativen keine Grenzen gesetzt. Bei Dokumenten sind immer alle Informationen zu jeder Zeit verfügbar. Bei einer dynamischen Projektion kann jede intuitive Arbeitsinformation beliebig lang in den Arbeitsbereich projiziert werden. Außerdem ist es auch möglich dem Mitarbeiter die Information wiederholt bereitzustellen, falls dieser dies wünscht. Dazu muss es möglich sein, dass der Mitarbeiter dem Projektionssystem interagieren kann.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Entdeckbarkeit	5

**Tabelle 39: Bewertung der Entdeckbarkeit für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Entdeckbarkeit	5

**Tabelle 40: Bewertung der Entdeckbarkeit für Alternative 2**

- Ablenkungsfreiheit

Ein Dokument kann ohne weitere Probleme so gestaltet werden, dass unnötige Informationen nicht von der eigentlichen Hauptinformation ablenken. Bei einer intuitiven Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion kann der Mitarbeiter nicht durch unnötige Informationen abgelenkt werden, da lediglich eine einzige Information bereitgestellt wird.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Ablenkungsfreiheit	10

**Tabelle 41: Bewertung der Ablenkungsfreiheit für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Ablenkungsfreiheit	10

**Tabelle 42: Bewertung der Ablenkungsfreiheit für Alternative 2**

- Unterscheidbarkeit

Werden die Arbeitsinformationen in Form von Dokumenten bereitgestellt, so können diese Informationen strukturiert werden, um dem Mitarbeiter die Möglichkeit zu geben Informationen unterscheiden zu können. Diese Strukturierung kann z.B. bzgl. der zeitlichen Abfolge der Arbeitstätigkeiten erfolgen. Eine solche Strukturierung ist bei einer intuitiven Informationsbereitstellung nicht notwendig, da lediglich eine Information bereitgestellt werden soll, nämlich die kontextsituativ richtige Information.

Der Vorteil der intuitiven Informationen liegt in der eindeutigen grafischen Gestaltung. Durch die Gestaltung der Informationen in Anlehnung an die Sicherheitszeichen kann der Mitarbeiter sofort zwischen einer verbotenden, gebietenden, oder warnenden Arbeitsinformation unterscheiden. Aber auch bei Dokumenten kann mit Farben und verschiedenen Schriftarten oder Unterstreichungen und Umrahmungen gearbeitet werden, um ähnliche Informationen in einer für die Informationsart eindeutigen und unterscheidbaren Form bereitzustellen.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Unterscheidbarkeit	8

**Tabelle 43: Bewertung der Unterscheidbarkeit für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Unterscheidbarkeit	9

**Tabelle 44: Bewertung der Unterscheidbarkeit für Alternative 2**

- Eindeutige Interpretierbarkeit

Bei einer Informationsbereitstellung durch Dokumente können die notwendigen Informationen beliebig detailliert zur Verfügung gestellt werden. Außerdem können Arbeitsinformationen in Form eines Textes durch Abbildungen oder Tabellen ergänzend erklärt werden. Wird der Text aufmerksam gelesen, so sollte jeder Mitarbeiter in der Lage sein die Arbeitsinformationen korrekt zu verstehen. Prinzipiell kann durch ein Dokument also jede Arbeitsinformation verständlich bereitgestellt werden.

Bei einer intuitiven Informationssprache wird auch mit Indices und Symbolen gearbeitet. Deren Bedeutung muss den Mitarbeitern vor Beginn der Montagetätigkeiten erklärt werden. So kann bspw. in der Einschulungsphase ein Kombinationszeichen verwendet werden, auf welchem neben dem Zeichen auch ein kurzer erklärender Text zu finden ist, während die Einzelzeichen nur für erfahrene Mitarbeiter verwendet werden. So sollte auch die intuitive Informationssprache eindeutig interpretierbar sein.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Eindeutige Interpretierbarkeit	9

**Tabelle 45: Bewertung der eindeutigen Interpretierbarkeit für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Eindeutige Interpretierbarkeit	6

**Tabelle 46: Bewertung der eindeutigen Interpretierbarkeit für Alternative 2**

- Kompaktheit

Wie bereits erwähnt werden bei einer dokumentbasierten Informationsbereitstellung meist sehr viele Informationen bereitgestellt. Oft sind mehrere Mappen oder Dateien vorhanden, welche Informationen beinhalten. Außerdem kommt es häufig vor, dass die Dokumente aus vielen Seiten an Informationen bestehen. So kann es vorkommen, dass redundante, nicht unterstützende oder überflüssige Informationen ebenfalls zur Verfügung stehen. Bei einer dynamischen Projektion wird nur die notwendige Information angezeigt.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Kompaktheit	1

**Tabelle 47: Bewertung der Kompaktheit für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Kompaktheit	9

Tabelle 48: Bewertung der Kompaktheit für Alternative 2

- Konsistenz

Eine konsistente Informationsdarstellung kann sowohl bei Dokumenten als auch bei einer intuitiven Informationssprache gestaltet werden.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Konsistenz	10

Tabelle 49: Bewertung der Konsistenz für Alternative 1

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Konsistenz	10

Tabelle 50: Bewertung der Konsistenz für Alternative 2

- Usability

Sowohl eine Informationsbereitstellung per Dokumente als auch mittels eines dynamischen Projektionssystems erfüllt den Zweck, nämlich dem Mitarbeiter die notwendigen Arbeitsinformationen zur Verfügung zu stellen. Die Schwächen und Stärken der jeweiligen Alternativen liegen nicht in der Zweckerfüllung, diese sind wohl in den anderen Kriterien zu finden.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Usability	10

Tabelle 51: Bewertung der Usability für Alternative 1

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Usability	10

Tabelle 52: Bewertung der Usability für Alternative 2

- User Experience

Es darf bezweifelt werden, dass die Benutzung von Dokumenten eine hohe Begeisterung oder ein außergewöhnliches Nutzungserlebnis auslöst. Im Gegenteil, in vielen Fällen ist es durchaus vorstellbar, dass die Benutzung der Dokumente als unnötig abgestempelt wird. Hingegen stellt die Bereitstellung der Informationen durch

dynamische Projektion eine neue, intuitive Art dar, welche, zumindest anfangs, durchaus mit Begeisterung aufgenommen werden könnte.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
User Experience	1

**Tabelle 53: Bewertung der User Experience für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
User Experience	8

**Tabelle 54: Bewertung der User Experience für Alternative 2**

- Nutzerakzeptanz

Wie auch schon bei der Bewertung des Kriteriums „User Experience“ beschrieben, kann es sein, dass in manchen Unternehmen und Abteilungen die Benutzung von Dokumenten als Informationsunterlagen nicht besonders akzeptiert wird. Bei einer dynamischen Projektion kann sich der Mitarbeiter eigentlich nicht aussuchen, ob er die Informationen benutzen will. Sie werden automatisch in sein Sichtfeld projiziert und erregen somit auch automatisch die Aufmerksamkeit der Mitarbeiter. Die Tatsache, dass es sich dabei um eine neue, moderne und intuitive Form der Informationsbereitstellung handelt, könnte dabei helfen, dass die zur Verfügung stehenden Informationen (mehr) akzeptiert werden.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Nutzerakzeptanz	4

**Tabelle 55: Bewertung der Nutzerakzeptanz für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Nutzerakzeptanz	8

**Tabelle 56: Bewertung der Nutzerakzeptanz für Alternative 2**

- Ergonomische Belastung

Da die Informationen in den Dokumenten selbst gesucht werden müssen, dadurch viel Text gelesen werden muss und auch selbst entschieden werden muss, welche Information die richtige ist, wird der Mitarbeiter einer hohen kognitiven Belastung ausgesetzt. Nicht vergessen werden darf, dass Mitarbeiter eventuell eine Leseschwäche besitzen oder die Sprache des Textes nicht die Muttersprache des Mitarbeiters ist, wodurch das Lesen in den Dokumenten eine noch höhere Belastung darstellt.

Die Informationen bei einer dynamischen Projektion werden dem Mitarbeiter vorgegeben, er muss keine Energie mehr verschwenden, die richtige Information aus den Texten zu filtern. Außerdem sind die Informationen intuitiv verständlich, wodurch das Lesen von langen Textabschnitten entfällt.

Alternative 1: Bereitstellung von Arbeitsinformationen mittels Papierdokumente und Dokumente auf zentralen PCs	
Bewertungskriterium	Bewertung
Ergonomische Belastung	2

**Tabelle 57: Bewertung der ergonomischen Belastung für Alternative 1**

Alternative 2: Bereitstellung von intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems	
Bewertungskriterium	Bewertung
Ergonomische Belastung	9

**Tabelle 58: Bewertung der ergonomischen Belastung für Alternative 2**

### 6) Nutzwertberechnung

Nachdem in den vorherigen Schritten die Gewichtung und Bewertung der Entscheidungskriterien erfolgten, können nun die jeweiligen Nutzwerte der Alternativen berechnet werden.

Kriterium	Gewicht [%]	Dokumente		Dynamische Projektion	
		Bewertung	Punktwert	Bewertung	Punktwert
Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten	4,5	0	0	9	0,405
Vermeidung verschwendender Körperbewegungen	4,5	0	0	7	0,315
Suchzeit	4,5	1	0,045	10	0,45
Wegzeit	4,5	2	0,09	8	0,36
Kosten der Systemeinführung	18	9	1,62	0	0
Laufende Kosten	4	8	0,32	8	0,32
Qualität	6	3	0,18	7	0,42
Abgleich der Informationen mit dem Prozess	4,5	5	0,225	8	0,36
Schnelles Abwickeln einer Prozessänderung	4,5	4	0,18	9	0,405
Einschulungsdauer	5	3	0,15	8	0,4
Qualifikation	5	4	0,2	8	0,4
Entdeckbarkeit	0,98	5	0,049	5	0,049
Ablenkungsfreiheit	0,98	10	0,098	10	0,098
Unterscheidbarkeit	0,98	8	0,0784	9	0,0882
Eindeutige Interpretierbarkeit	2,1	9	0,189	6	0,126

Kriterium	Gewicht [%]	Dokumente		Dynamische Projektion	
		Bewertung	Punktwert	Bewertung	Punktwert
Kompaktheit	0,98	1	0,0098	9	0,0882
Konsistenz	0,98	10	0,098	10	0,098
Usability	7	10	0,7	10	0,7
User Experience	7	1	0,07	8	0,56
Nutzerakzeptanz	7	4	0,28	8	0,56
Ergonomische Belastung	7	2	0,14	9	0,63
Summe	100				
<b>Nutzwerte</b>			<b>4,7222</b>		<b>6,8324</b>

Tabelle 59: Berechnung des Nutzwertes der Alternativen

Der berechnete Nutzwert der Informationsbereitstellung durch intuitive Informationen, welche mittels eines dynamischen Projektionssystems bereitgestellt werden, ist somit höher als der Nutzwert der Bereitstellung durch Dokumente.

# 11 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Diplomarbeit in Bezug auf die Forschungsfragen zusammengefasst werden.

## 11.1 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Unterfrage 1

*Wie kann die intuitive Gestaltung von typischen Arbeitsinformationen der Winglet-Montage aussehen?*

Es gibt viele Möglichkeiten, wie eine intuitive Informationssprache gestaltet werden kann. So können bspw. Zeichen und kurze Textanweisungen verwendet werden, um eine intuitive Informationssprache zu entwickeln. Dabei empfiehlt es sich, die Zeichen mit unterschiedlichen Formen und Farben zu designen. Als Vorbild können die Sicherheitszeichen nach DIN 4844-2 und DIN EN ISO 7010 genommen werden, welche den Gestaltungsgrundlagen der DIN ISO 3864 folgen. Außerdem werden in DIN 4844-1 Farbwerte für die Farben der Sicherheitszeichen empfohlen. Auch die kurzen Textanweisungen können in Anlehnung an die Sicherheitszeichen gestaltet werden, indem sie auf Zusatzzeichen platziert werden.

Eine intuitive Informationssprache, die in Anlehnung an die oben genannten Normen gestaltet ist, arbeitet mit den Formen Kreis, Dreieck und Viereck sowie mit den Farben Rot, Weiß, Blau, Gelb, Grün und Schwarz. Solche Zeichen sind weit verbreitet, wodurch gewisse gesellschaftliche Konventionen entstanden sind, in welchem Kontext bestimmte Farben und Formen zu verwenden sind. Werden die Zeichen ähnlich den Zeichen in den oben genannten Normen gestaltet, so können diese Konventionen erfüllt werden.

## 11.2 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Unterfrage 2

*Eignen sich die intuitiven Arbeitsinformationen der Winglet-Montage, welche nach den Erkenntnissen der ersten Unterfrage gestaltet werden, um mittels eines dynamischen Projektionssystems digital am Winglet-Werkzeug bereitgestellt zu werden?*

Die intuitive Informationssprache, welche nach den Erkenntnissen der ersten Unterfrage im Zuge dieser Diplomarbeit entwickelt wurde, soll auf dem Winglet-Werkzeug sowie auf umliegenden Wänden und Böden bereitgestellt werden. Vor allem

auf Grund der dunklen und stark reflektierenden Oberfläche des Winglet-Werkzeuges war fraglich, ob die Projektionen gut erkannt werden können. Aufgrund der praktischen Versuche, die am Winglet-Werkzeug der Pilotfabrik durchgeführt wurden, kann die Aussage getroffen werden, dass sich die gestalteten Arbeitsinformationen hervorragend für eine Bereitstellung am Winglet-Werkzeug eignen. Lediglich die Warnzeichen müssen etwas umgestaltet werden, da deren schwarze Umrandung nicht gut von der dunklen Oberfläche des Winglet-Werkzeuges unterschieden werden kann. Die restlichen Zeichen können gut erkannt werden und die Texte in der Schriftart Arial Black können gut gelesen werden. Einstellungen wie der Zoom, der Fokus, die Verzerrung oder die Größe der Projektion müssen direkt am dynamischen Projektionssystem vorgenommen werden. Für die gewählte Gestaltung der Arbeitsinformationen konnten ohne Probleme passende Einstellungen gefunden werden.

### 11.3 Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Unterfrage 3

*Bietet die digitale Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen mittels eines dynamischen Projektionssystems für Mitarbeiter und Unternehmen im Vergleich zur herkömmlichen Informationsbereitstellung einen Mehrwert?*

Schlussendlich stellt sich die Frage, ob eine moderne, digitale Informationsbereitstellung mittels eines dynamischen Projektionssystems überhaupt einen Mehrwert gegenüber der herkömmlichen Informationsbereitstellung durch Dokumente bietet. Deshalb wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt, im Zuge derer eine Vielzahl von Kriterien für beide Alternativen bewertet wurden. Diese wies der Informationsbereitstellung mittels einer dynamischen Projektion gegenüber der herkömmlichen Informationsbereitstellung einen höheren Nutzwert aus. Somit kann die Aussage getroffen werden, dass die neue, moderne und digitale Art der Informationsbereitstellung durchaus einen Mehrwert für Unternehmen und Mitarbeiter bietet.

## 12 Diskussion und Ausblick

### 12.1 Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse

#### 12.1.1 Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse bzgl. der Gestaltung und Bereitstellung der intuitiven Informationen

Für die Gestaltung der intuitiven Arbeitsinformationen wurden die Sicherheitszeichen und deren Gestaltungsgrundlagen als Vorbild genommen. Dies ist vor allem deswegen sinnvoll, um gesellschaftlichen Konventionen zu entsprechen. Allerdings ergibt sich dann das Problem, dass die Mitarbeiter womöglich Arbeitsinformationen, welche die Sicherheit der Mitarbeiter nicht betreffen, nicht mehr von tatsächlichen Sicherheitsinformationen unterscheiden können, zumindest auf den ersten Blick. Außerdem können die Mitarbeiter bei derzeitiger Gestaltung der intuitiven Arbeitsinformationen optisch nicht zwischen wichtigen und unwichtigen Arbeitsinformationen unterscheiden. Die Wichtigkeit von Arbeitsinformationen könnte allerdings bspw. durch akustische Signale untermauert werden.

Werden „echte“ Sicherheitszeichen – also Zeichen, die tatsächlich die Sicherheit des Mitarbeiters betreffen – auf das Wingleet-Werkzeug oder umliegende Bereiche projiziert, so müsste eigentlich auch beachtet werden, dass es einen genormten Zusammenhang zwischen der Größe des Sicherheitszeichens und der Erkennungsweite gibt (DIN 4844-1, 2012, S. 6). Dies ist bei einer dynamischen Projektion natürlich schwierig zu beurteilen, da sich der virtuelle Inhalt bewegt.

Bei beleuchteten und hinterleuchteten Sicherheitszeichen gibt es zusätzlich farbmetrische und photometrische Anforderungen an die Sicherheits- und Kontrastfarben, welche die Normfarbwertanteile, die Leuchtdichte, die Gleichmäßigkeit der Farbflächen, den Farbkontrast, den Leuchtdichtefaktor und den Leuchtdichtekontrast betreffen (DIN 4844-1, 2012, S. 7–8). Solche Anforderungen sind zurzeit für eine Bereitstellung der Zeichen durch dynamische Projektion noch nicht genormt.

#### 12.1.2 Einschränkung der Ansätze und Ergebnisse der Nutzwertanalyse

Die Gewichtung der Kriterien, welche im Zuge der durchgeführten Nutzwertanalyse bewertet wurden, erfolgte nach möglichst objektiver Einschätzung des Autors dieser Diplomarbeit. Dabei wurde versucht, sich in die Lage von Unternehmen und Mitarbeiter zu versetzen, um eine objektive Gewichtung zu ermöglichen. Dasselbe gilt für die Bewertung der Kriterien. Eine andere Gewichtung und Bewertung der Kriterien würden in weiterer Folge zu veränderten Nutzwerten führen. Da die durchgeführte

Nutzwertanalyse für die Informationsbereitstellung durch dynamische Projektion einen um einiges höheren Nutzwert lieferte als für die dokumentbasierte Informationsbereitstellung, kann aber davon ausgegangen werden, dass selbst bei einer etwas veränderten Gewichtung und Benotung zugunsten der dokumentbasierten Informationsbereitstellung immer noch die dynamische Projektion einen höheren Nutzwert aufweist, das Ergebnis der durchgeführten Nutzwertanalyse also robust ist.

## 12.2 Nächste mögliche Schritte zur Weiterentwicklung

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde für die Bereitstellung der intuitiven Informationen lediglich eine vordefinierte „Show“ mittels des MDC-X Media Servers erstellt. Es wurden also im Vorhinein bestimmte Positionen ausgewählt, an denen die Projektionen erscheinen sollten.

Ein nächster Schritt in Richtung einer „intelligenten“ Informationsbereitstellung wäre die kontextsituative Bereitstellung der intuitiven Arbeitsinformationen. Dazu können bspw. Kameras dienen, welche durch Bilderkennung Veränderungen in der Arbeitsumgebung registrieren. Bewegt sich z.B. der Mitarbeiter, so wäre es sinnvoll, wenn ihm die bereitgestellte Arbeitsinformation entlang des Wingleet-Werkzeuges oder der Wände und Böden folgt. So kann immer eine optimale Sicht auf die Information gewährleistet werden. Erkennt das Assistenzsystem automatisch, an welchem Prozessschritt der Mitarbeiter arbeitet, oder könnte der Mitarbeiter mit dem System interagieren, um mitzuteilen, welche Information benötigt wird, so kann die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt bereitgestellt werden.

## 13 Literaturverzeichnis

- Alexander, K. (2013). *Kompendium der visuellen Information und Kommunikation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-35450-2>
- Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (Hrsg.). (2007). *Lagerung von gefährlichen Arbeitsstoffen*. Sicherheitsinformation der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (Sicherheit Kompakt M 330). Zugriff am 30.09.2019. Verfügbar unter <https://www.auva.at/cdscontent/load?contentid=10008.596364&version=1399464662>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Bischoff, J., Taphorn, C., Wolter, D., Braun, N., Fellbaum, M., Goloverov, A. et al. (Juni 2015). *Erschließen der Potenziale der Anwendung von 'Industrie 4.0' im Mittelstand*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Bischoff, J., Hrsg.). agiplan GmbH, Fraunhofer IML, ZENIT GmbH. Zugriff am 24.07.2019. Verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D5)
- Bornwasser, M., Bläsing, D. & Hinrichsen, S. (2018). Informatrische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(4), 264–275. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0123-x>
- Broll, W. (2013). Augmentierte Realität. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 241–293). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3>
- Bühler, P., Schlaich, P. & Sinner, D. (2017). *Zeichen und Grafik. Logo - Infografik - 2D-/3D-Grafik* (Bibliothek der Mediengestaltung). Berlin, Heidelberg: Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53850-0>
- DIN 4844-1. (2012). *Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 1: Erkennungsweiten und farb- und photometrische Anforderungen*.
- DIN 4844-2. (2012). *Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 2: Registrierte Sicherheitszeichen*.

- DIN EN ISO 7010. (2012). *Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Registrierte Sicherheitszeichen*.
- DIN EN ISO 9241-112. (2017). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 112: Grundsätze der Informationsdarstellung*.
- DIN ISO 3864-1. (2011). *Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 1: Gestaltungsgrundlagen für Sicherheitszeichen und Sicherheitsmarkierungen*.
- DIN ISO 3864-2. (2016). *Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 2: Gestaltungsgrundlagen für Sicherheitsschilder zur Anwendung auf Produkten*.
- Dörner, R., Jung, B., Grimm, P., Broll, W. & Göbel, M. (2013). Einleitung. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 1–31). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3>
- Dörner, R. & Steinicke, F. (2013). Wahrnehmungsaspekte von VR. In R. Dörner, W. Broll, P. Grimm & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität* (S. 33–63). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3>
- Berufsgenossenschaft Holz und Metall. (2014). *Bearbeitung von CFK-Materialien. Orientierungshilfe für Schutzmaßnahmen* (Fachbereich Holz und Metall der DGUV, Hrsg.) (DGUV-Information). Zugriff am 30.09.2019. Verfügbar unter [https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl\\_deutsch/074\\_cfk\\_materialien.pdf](https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl_deutsch/074_cfk_materialien.pdf)
- Franke, J. & Risch, F. (2009). Effiziente Erstellung, Distribution und Rückmeldung von Werkerinformationen in der Montage. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 104(10), 822–826. <https://doi.org/10.3139/104.110167>
- Gerke, W. (2014). *Technische Assistenzsysteme*. Berlin, München, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110343717>
- Günthner, W. A. & Wölfle, M. (2011). *Papierlose Produktion und Logistik* (Forschungsbericht / fml, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München). Garching: TUM, fml.

- Hesse, S. & Schnell, G. (2014). *Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-05867-8>
- Jost, J., Kirks, T., Mättig, B., Sinsel, A. & Trapp, T. U. (2017). Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0. Bd. 1: Produktion* (Springer Reference Technik, 2., erweiterte und bearbeitete Auflage, S. 153–174). Berlin: Springer Vieweg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45279-0\\_86](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45279-0_86)
- Klose, E. M., Eis, A., Hegenberg, J. & Schmidt, L. (2018). Nutzerorientierte Anforderungsanalyse für ein adaptiv lernendes Reiseassistenzsystem mit Datenbrillen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(1), 3–12. <https://doi.org/10.1007/s41449-017-0075-6>
- Klußmann, N. & Malik, A. (2018). *Lexikon der Luftfahrt*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54040-4>
- Kühnapfel, J. B. (2019). *Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25164-2>
- Landau, K. (2007). *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best practice im Arbeitsprozess* (1. Aufl.). Stuttgart: Gentner.
- Langmann, R. (2017). *Taschenbuch der Automatisierung* (3., neu bearbeitete Auflage). München: Hanser. <https://doi.org/10.3139/9783446451025>
- Lengsfeld, H. & Lacalle, J. (2015). Prepregs: Verarbeitungstechnologie. In H. Lengsfeld, F. Wolff-Fabris, J. Krämer, J. Lacalle & V. Altstädt (Hrsg.), *Faserverbundwerkstoffe. Prepregs und ihre Verarbeitung* (S. 47–116). München: Hanser.
- Lotter, B. (2012a). Einführung. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis* (VDI-Buch, 2. Aufl. 2013, S. 1–8). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9_16)
- Lotter, B. (2012b). Manuelle Montage von Großgeräten. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis* (VDI-Buch, 2. Aufl. 2013, S. 147–165). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9_16)
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In H. Das (Hrsg.),

*Telemanipulator and Telepresence Technologies* (SPIE Proceedings, S. 282–292). SPIE.

Moser, C. (2012). *User Experience Design*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-13363-3>

Richter, M. (2006). Gestaltung der Montageorganisation. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis* (VDI-Buch, S. 95–124). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-36669-5>

Risch, F., Berndt, R. & Franke, J. (2011). Schlanke Informationsflüsse für eine effiziente Produktion. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 106(10), 706–710. <https://doi.org/10.3139/104.110624>

Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56037-2>

Schlund, S., Mayrhofer, W. & Rupprecht, P. (2018). Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(4), 276–286. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0128-5>

Schöner, H.-P. & Morys, B. (2015). Dynamische Fahrsimulatoren. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (ATZ/MTZ-Fachbuch, 3., überarb. und erg. Aufl., S. 139–154). Wiesbaden: Springer Vieweg. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-658-05734-3_10)

Sihn, W., Sunk, A., Nemeth, T., Kuhlmann, P. & Matyas, K. (2016). *Produktion und Qualität*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446449916>

Stapelkamp, T. (2007). *Screen- und Interfacedesign. Gestaltung und Usability für Hard- und Software* (X.media.press). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32950-3>

Tönnis, M. (2010). *Augmented Reality. Einblicke in die Erweiterte Realität* (Informatik im Fokus, Bd. 0). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14179-9>

Warnecke, H.-J., Löhr, H.-G. & Kiener, W. (1975). *Montagetechnik. Schwerpunkt der Rationalisierung* (Buchreihe Produktionstechnik heute, Bd. 7). Mainz: Krausskopf.

Westkämper, E. (2013). Integration in der digitalen Produktion. In J. Lentjes (Hrsg.), *Digitale Produkt*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Wolff-Fabris, F. (2015). Einleitung. In H. Lengsfeld, F. Wolff-Fabris, J. Krämer, J. Lacalle & V. Altstädt (Hrsg.), *Faserverbundwerkstoffe. Prepregs und ihre Verarbeitung* (S. 1–9). München: Hanser.
- Wolff-Fabris, F., Lengsfeld, H. & Krämer, J. (2015). Prepregs und deren Ausgangsmaterialien. In H. Lengsfeld, F. Wolff-Fabris, J. Krämer, J. Lacalle & V. Altstädt (Hrsg.), *Faserverbundwerkstoffe. Prepregs und ihre Verarbeitung* (S. 11–25). München: Hanser.
- Wulfsberg, J. (2017). *Technische Autonomie und Autonomie des Menschen ... gemeinsam stark*. 28. Deutscher Montagekongress, München (Vortrag).

## 14 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel Arbeitsanweisungen in Form eines Papierdokumentes .....	2
Abbildung 2: Aufbau und Struktur der Diplomarbeit.....	6
Abbildung 3: Funktionen der Montage .....	8
Abbildung 4: Winglet-Werkzeug in der Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien .....	12
Abbildung 5: Hand-Layup .....	13
Abbildung 6: Schemenhafter Aufbau Demonstrator Winglet-Montage .....	14
Abbildung 7: Verschmelzung einer realen Umgebung mit einem virtuellen Objekt zur AR .....	18
Abbildung 8: Reality-Virtuality (RV) Continuum .....	19
Abbildung 9: Funktionsweise Optischer See-Through-Displays mit semi-transparenten Spiegeln.....	22
Abbildung 10: Uneingeschränktes Sichtfeld ohne Datenbrille .....	22
Abbildung 11: Sichteinschränkung bei einer geschlossenen Bauweise .....	23
Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines projektionsbasierten AR-Systems .....	24
Abbildung 13: Zeichenkategorien .....	29
Abbildung 14: Fluchtweg als Piktogramm.....	30
Abbildung 15: Geometrische Formen, Sicherheitsfarben und Kontrastfarben von Sicherheitszeichen .....	33
Abbildung 16: Beispiele für die Anordnung von Zusatzzeichen .....	34
Abbildung 17: Farben der Zusatzzeichen .....	34
Abbildung 18: Kombinationszeichen.....	35
Abbildung 19: Beispiele für ein Verbot und für eine Warnung in Form eines Kombinationszeichens.....	35
Abbildung 20: Beispiele Verbotsschilder als Kombinationszeichen .....	36
Abbildung 21: Simultankontrast .....	37
Abbildung 22: Komplementärkontrast.....	38
Abbildung 23: Farbkreis nach Harald Küppers .....	38
Abbildung 24: Hell-Dunkel-Kontrast.....	38
Abbildung 25: Grundfarben der additiven Farbmischung .....	41
Abbildung 26: UV-Schutz – Einzelzeichen .....	48
Abbildung 27: UV-Schutz – Kombinationszeichen.....	48
Abbildung 28: Falten und Verknitterungen – Einzelzeichen .....	49
Abbildung 29: Falten und Verknitterungen – Kombinationszeichen.....	49
Abbildung 30: Föhn – Einzelzeichen .....	50
Abbildung 31: Föhn – Kombinationszeichen .....	50
Abbildung 32: Zuschnitt der Lagen – Einzelzeichen .....	51
Abbildung 33: Zuschnitt der Lagen – Kombinationszeichen .....	51
Abbildung 34: Handschutz – Einzelzeichen.....	52
Abbildung 35: Handschutz – Kombinationszeichen.....	52

Abbildung 36: Explosionsgefahr – Einzelzeichen .....	53
Abbildung 37: Explosionsgefahr – Kombinationszeichen .....	53
Abbildung 38: Hautreizung – Einzelzeichen .....	54
Abbildung 39: Hautreizung – Kombinationszeichen 1 .....	54
Abbildung 40: Hautreizung - Kombinationszeichen 2 .....	55
Abbildung 41: Feuerlöscher – Einzelzeichen.....	55
Abbildung 42: Feuerlöscher Kombinationszeichen.....	56
Abbildung 43: Brandmelder – Einzelzeichen .....	56
Abbildung 44: Brandmelder – Kombinationszeichen .....	57
Abbildung 45: Fluchtweg in Richtung "rechts" .....	57
Abbildung 46: Fluchtweg in Richtung "links" .....	58
Abbildung 47: Textanweisung – Foreign Object Damage.....	58
Abbildung 48: Textanweisung – Layup.....	59
Abbildung 49: Aufbau am Demonstrator Winglet-Montage.....	60
Abbildung 50: Projektor mit Spiegelkopf.....	61
Abbildung 51: Projektor projiziert ein Piktogramm über den Spiegel auf das Winglet- Werkzeug .....	62
Abbildung 52: Rechner MDC-X2 .....	63
Abbildung 53: Benutzeroberfläche des MDC-X Media Servers .....	63
Abbildung 54: Bereitstellung UV-Schutz Einzelzeichen.....	65
Abbildung 55: Bereitstellung UV-Schutz Kombinationszeichen.....	65
Abbildung 56: Bereitstellung Falten und Verknitterungen Einzelzeichen.....	66
Abbildung 57: Bereitstellung Falten und Verknitterungen Kombinationszeichen .....	66
Abbildung 58: Bereitstellung Föhn Einzelzeichen – Ursprüngliches Design.....	67
Abbildung 59: Bereitstellung Föhn Einzelzeichen – Anderes Design .....	67
Abbildung 60: Bereitstellung Föhn Kombinationszeichen.....	67
Abbildung 61: Bereitstellung Schneiden Einzelzeichen.....	68
Abbildung 62: Bereitstellung Schneiden Kombinationszeichen .....	68
Abbildung 63: Bereitstellung Handschutz Einzelzeichen .....	68
Abbildung 64: Bereitstellung Handschutz Kombinationszeichen .....	68
Abbildung 65: Bereitstellung Explosion Einzelzeichen - Ursprüngliches Design .....	69
Abbildung 66: Bereitstellung Explosion Einzelzeichen - Neues Design.....	69
Abbildung 67: Bereitstellung Explosion Kombinationszeichen.....	69
Abbildung 68: Bereitstellung Hautkontakt Einzelzeichen.....	70
Abbildung 69: Bereitstellung Hautkontakt Kombinationszeichen .....	70
Abbildung 70: Bereitstellung Hautkontakt mit Handschutz Kombinationszeichen .....	70
Abbildung 71: Bereitstellung Feuerlöscher Einzelzeichen .....	71
Abbildung 72: Bereitstellung Feuerlöscher Kombinationszeichen .....	71
Abbildung 73: Bereitstellung Brandmelder Einzelzeichen .....	71
Abbildung 74: Bereitstellung Brandmelder Kombinationszeichen.....	71
Abbildung 75: Bereitstellung Fluchtweg in Richtung "rechts" .....	72

Abbildung 76: Bereitstellung Fluchtweg in Richtung "links" .....72  
Abbildung 77: Bereitstellung FOD .....73  
Abbildung 78: Bereitstellung Layup .....73  
Abbildung 79: Bereitstellung der Arbeitsinformation "Föhn" mittels eines  
Papierdokumentes.....75  
Abbildung 80: Bereitstellung der Arbeitsinformation „Föhn“ als Einzelzeichen mittels  
eines dynamischen Projektionssystems .....76  
Abbildung 81: Bereitstellung der Arbeitsinformation „Föhn“ als Kombinationszeichen  
mittels eines dynamischen Projektionssystems.....76

## 15 Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Nutzwertes einer Alternative.....	45
--	----

## 16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Baustellenmontage .....	9
Tabelle 2: Übersicht über die sensorischen Modalitäten .....	17
Tabelle 3: Wahrnehmungsvermögen von Mensch und Maschine .....	17
Tabelle 4: Fachspezifische Assoziationen mit den Farben Rot, Orange und Gelb ....	39
Tabelle 5: Fachspezifische Assoziationen mit den Farben Grün, Blau, Violett und Schwarz.....	39
Tabelle 6: Farben der Sicherheitsschilder .....	41
Tabelle 7: RGB-Werte der Farben der Symbole der Sicherheitsschilder.....	42
Tabelle 8: Kontrastfarben der Sicherheitsfarben .....	42
Tabelle 9: Gewichtung von ausgewählten Kriterien.....	44
Tabelle 10: Gewichtung bei vorheriger Kategorisierung .....	45
Tabelle 11: Korridore bei einer 10er-Skala .....	45
Tabelle 12: Nutzwertberechnung.....	46
Tabelle 13: Entscheidungsproblem und Ziel der Nutzwertanalyse .....	74
Tabelle 14: Gewichtung der Kategorien der Nutzwertanalyse .....	78
Tabelle 15: Gewichtung der Kriterien der Nutzwertanalyse .....	78
Tabelle 16: Bedeutung der Punktwerte .....	79
Tabelle 17: Bewertung der Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten für Alternative 1.....	79
Tabelle 18: Bewertung der Einschränkung der wertschöpfenden Tätigkeiten für Alternative 2.....	80
Tabelle 19: Bewertung der Vermeidung verschwendender Körperbewegungen für Alternative 1.....	80
Tabelle 20: Bewertung der Vermeidung verschwendender Körperbewegungen für Alternative 2.....	80
Tabelle 21: Bewertung der Suchzeit für Alternative 1 .....	80
Tabelle 22: Bewertung der Suchzeit für Alternative 2.....	81
Tabelle 23: Bewertung der Wegzeit für Alternative 1 .....	81
Tabelle 24: Bewertung der Wegzeit für Alternative 2.....	81
Tabelle 25: Bewertung der Kosten der Systemeinführung für Alternative 1 .....	82
Tabelle 26: Bewertung der Kosten der Systemeinführung für Alternative 2 .....	82
Tabelle 27: Bewertung der laufenden Kosten für Alternative 1 .....	82
Tabelle 28: Bewertung der laufenden Kosten für Alternative 2.....	82
Tabelle 29: Bewertung der Qualität für Alternative 1 .....	83
Tabelle 30: Bewertung der Qualität für Alternative 2 .....	83
Tabelle 31: Bewertung des Abgleichs der Informationen mit dem Prozess für Alternative 1.....	83
Tabelle 32: Bewertung des Abgleichs der Informationen mit dem Prozess für Alternative 2.....	84

Tabelle 33: Bewertung des schnellen Abwickelns einer Prozessänderung für Alternative 1 .....84

Tabelle 34: Bewertung des schnellen Abwickelns einer Prozessänderung für Alternative 2.....84

Tabelle 35: Bewertung der Einschulungsdauer für Alternative 1 .....85

Tabelle 36: Bewertung der Einschulungsdauer für Alternative 2 .....85

Tabelle 37: Bewertung der Qualifikation für Alternative 1 .....85

Tabelle 38: Bewertung der Qualifikation für Alternative 2.....85

Tabelle 39: Bewertung der Entdeckbarkeit für Alternative 1 .....86

Tabelle 40: Bewertung der Entdeckbarkeit für Alternative 2 .....86

Tabelle 41: Bewertung der Ablenkungsfreiheit für Alternative 1 .....87

Tabelle 42: Bewertung der Ablenkungsfreiheit für Alternative 2 .....87

Tabelle 43: Bewertung der Unterscheidbarkeit für Alternative 1 .....87

Tabelle 44: Bewertung der Unterscheidbarkeit für Alternative 2 .....87

Tabelle 45: Bewertung der eindeutigen Interpretierbarkeit für Alternative 1 .....88

Tabelle 46: Bewertung der eindeutigen Interpretierbarkeit für Alternative 2 .....88

Tabelle 47: Bewertung der Kompaktheit für Alternative 1 .....88

Tabelle 48: Bewertung der Kompaktheit für Alternative 2.....89

Tabelle 49: Bewertung der Konsistenz für Alternative 1 .....89

Tabelle 50: Bewertung der Konsistenz für Alternative 2 .....89

Tabelle 51: Bewertung der Usability für Alternative 1 .....89

Tabelle 52: Bewertung der Usability für Alternative 2 .....89

Tabelle 53: Bewertung der User Experience für Alternative 1 .....90

Tabelle 54: Bewertung der User Experience für Alternative 2 .....90

Tabelle 55: Bewertung der Nutzerakzeptanz für Alternative 1 .....90

Tabelle 56: Bewertung der Nutzerakzeptanz für Alternative 2.....90

Tabelle 57: Bewertung der ergonomischen Belastung für Alternative 1 .....91

Tabelle 58: Bewertung der ergonomischen Belastung für Alternative 2 .....91

Tabelle 59: Berechnung des Nutzwertes der Alternativen .....92

## 17 Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
AR	Augmented Reality
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
bspw.	beispielsweise
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
GPS	Global Positioning System
griech.	griechisch
HCCPPAS	Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems
IMW	Institut für Managementwissenschaften
insbes.	insbesondere
lat.	lateinisch
LCD	Liquid Crystal Display
max.	maximal
MR	Mixed Reality
N	Nutzwert
nm	Nanometer
PC	Personal Computer
RAL	Reichsausschuss für Lieferbedingungen
RGB	Rot-Grün-Blau
sh.	siehe
sog.	so genannte/r
TU	Technische Universität
u./o.Ä.	und/oder Ähnliche/s
UV	Ultraviolett
VR	Virtual Reality
z.B.	zum Beispiel