

STUDIENARBEIT

zum Thema

Untersuchung von Interaktionsmechaniken in
Augmented-Reality-Anwendungen im Prozessumfeld

vorgelegt von Christoph Jesaja Heidelbach
im Studiengang Elektro- und Informationstechnik, Jg. 2012
geboren am 01.01.1992 in Kassel

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Heinze
 Dipl.-Ing. Markus Graube
Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas
Tag der Einreichung: 28.02.2018

Aufgabenstellung für die Studienarbeit

Name, Vorname: Heidelbach, Christoph Jesaja
Matrikelnummer: 3863283
Studiengang: Elektrotechnik
Thema: Untersuchung von Interaktionsformen in Augmented-Reality-Anwendungen im Prozessumfeld

Schwerpunkte/Zielsetzung:

1. Recherche & Analyse möglicher, für Augmented-Reality per Tablet geeignete, Interaktionsformen
2. Konzeption der Umsetzung
3. Implementierung einer ausgewählten Interaktionsform im Demonstrator
4. Verifikation der Implementierung

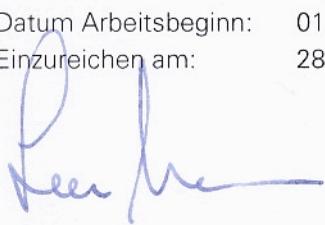
Augmented-Reality-Anwendungen ermöglichen es, Daten einer Anlage in das Sichtfeld einzublenden. Für eine gebrauchstaugliche Anwendung in der Prozessindustrie sind jedoch viele offene Gestaltungsfragen zu klären.

Ziel dieser Arbeit ist die Erweiterung des vorhandenen AR Demonstrators um ein Interaktionskonzept für die Steuerung und Überwachung einer modularen Anlage. Dazu sind passende Interaktionsformen zu recherchieren und auch anhand der Eignung für einen Einsatz an einer Anlage auszuwählen. Zusätzlich zu den Interaktionen ist auch die Platzierung der Marker dementsprechend anzupassen, dass eine Interaktion mit der Anlage nicht begrenzt wird. Das erstellte Konzept soll in den bestehenden Demonstrator integriert werden und anschließend verifiziert werden.

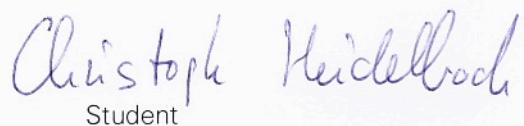
Die Studienarbeit wird in deutscher / englischer Sprache verfasst.*

* (Zutreffendes unterstreichen)

Betreuer: Dipl.-Ing. Sebastian Heinze
Datum Arbeitsbeginn: 01.09.2017
Einzureichen am: 28.02.2018



Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas
Prüfer



Christoph Heidelbach

Student

Prof. Dr.-Ing. habil. L. Urbas
Professur für Prozessleittechnik

Postadresse (Briefe)
TU Dresden,
01062 Dresden

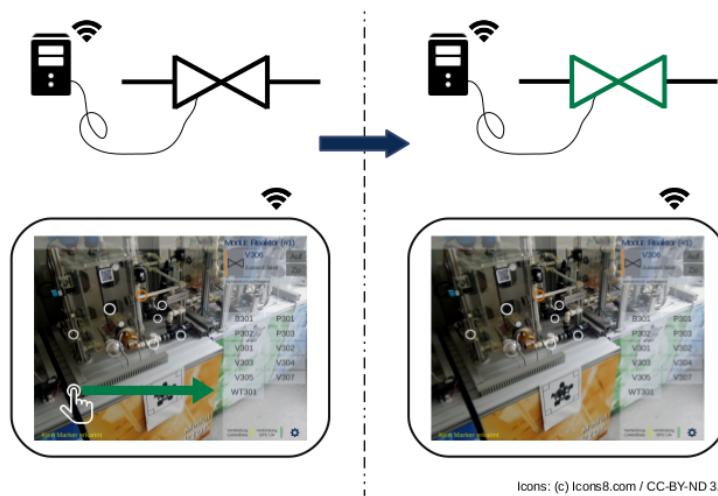
Postadresse (Pakete
u.ä.)
Helmholtzstraße 10,
01069 Dresden

Besucheradresse
Barkhausen-Bau, Ge-
org-Schumann-Str. 9-
11

Zufahrt
Barkhausen-Bau,
Georg-Schumann-
Str. 9-11

Untersuchung von Interaktionsmechaniken in Augmented-Reality-Anwendungen im Prozessumfeld

Mensch-Maschine-Schnittstellen werden in der Prozessindustrie täglich verwendet, um unterschiedlichste Aufgaben zu erfüllen. An der Professur für Prozessleittechnik existiert eine Applikation, die Prozessdaten einer Anlage mithilfe von Augmented Reality darstellt. Diese Studienarbeit beschäftigt sich im ersten Teil mit der Erweiterung jener Anwendung um das fehlende Interaktionkonzept. Das Ergebnis ist ein mobiles User Interface, basierend auf einem Android-Tablet, das die Steuerung der Anlage mittels unterschiedlichen Touch-Gesten ermöglicht. Der Einsatz von Augmented Reality in der Industrie geschieht häufig unter Verwendung von Markern. Die Qualität dieser Marker beeinflusst direkt die Funktionalität einer solchen Umsetzung. Somit handelt der zweite Abschnitt dieser Arbeit vom Entwurf eines neuen Markerkonzeptes für Augmented Reality. Abschließend erfolgt die Validierung der prototypischen Umsetzung von Benutzungsschnittstelle und neuen Markern.



Icons: (c) Icons8.com / CC-BY-ND 3.0

Betreuer:

Dipl.-Ing. Sebastian Heinze

Dipl.-Ing. Markus Graube

Hochschullehrer:

Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas

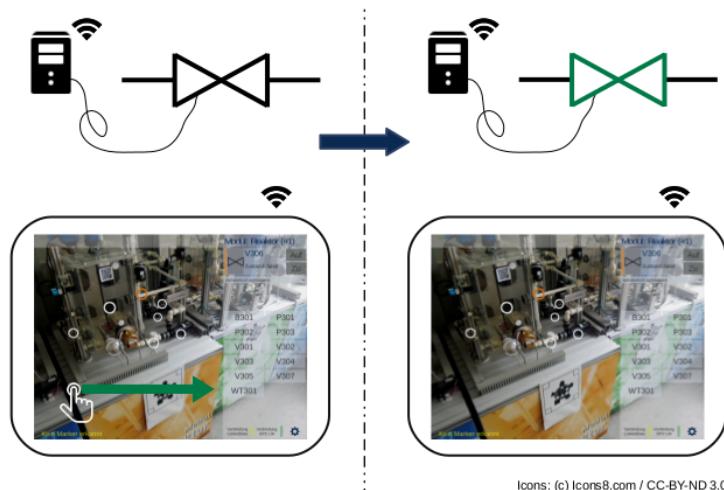
Tag der Einreichung: 28.02.2018

STUDIENARBEIT

Bearbeiter: Christoph Jesaja Heidelbach

Analysis of Interaction Techniques for Augmented Reality Applications in the Environment of Process Control Systems

Human-Machine Interfaces are used daily to complete different tasks in process industries. At the Chair of Process Control Systems at TU Dresden an application exists that visualizes process data via augmented reality. This student research thesis seeks to elaborate on this application by adding an interaction concept. The first part of this work is a mobile user interface that is based on an Android tablet and allows control of the system by means of various touch gestures. The use of augmented reality in industrial contexts often requires the employment of local markers. Their quality is a determining factor for the functionality of such applications. Thus the second part of this paper deals with the design and concept of new markers. Finally, the validation of the prototypic implementation and the markers will be presented.



Icons: (c) Icons8.com / CC-BY-ND 3.0

Tutor: Dipl.-Ing. Sebastian Heinze
Dipl.-Ing. Markus Graube
Supervisor: Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas
Day of Submission: 28.02.2018

STUDENT RESEARCH THESIS

Author: Christoph Jesaja Heidelbach

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	2
2.1 Industrielles Umfeld	2
2.2 AR - Augmented Reality	6
2.2.1 AR-Interaktionsmöglichkeiten	7
2.2.2 AR-Marker	10
3 Analyse	15
3.1 Anforderungsdefinition	15
3.1.1 Präzisierung der Aufgabenstellung	15
3.1.2 Umgebungskontext	15
3.1.3 Charakterisierung anwendungsprädestinierter Menschen	17
3.1.4 Anforderungen	18
3.2 Mögliche Interaktions- und Markerdesignvarianten	18
3.2.1 Analyse verschiedener Interaktionskonzepte	18
3.2.2 Diskussion unterschiedlicher Markerarten	23
4 Ausarbeitung konkreter Lösungsstrategien	26
4.1 Erstellung eines Interaktionskonzeptes	26
4.2 Erweiterung des bestehenden Markerdesigns	35
5 Prototypische Umsetzung	39
5.1 Implementierung der Benutzungsoberfläche	39
5.2 Softwareseitige Umsetzung des neuen Touch-Gestensets	41
5.3 Vorstellung der neuen Modulmarker	44
6 Verifikation der Umsetzung	46
6.1 Benutzungsoberfläche	46
6.2 Markerdesign	52
7 Zusammenfassung & Ausblick	56

Anhang A Umfangreiches Material zu Unterabschnitt 3.1.4: Anforderungen	60
A.1 Funktionale Anforderungen Interaktion - FAI	60
A.2 Funktionale Anforderungen Marker - FAM	62
A.3 Nichtfunktionale Anforderungen Interaktion - NFAI	62
A.4 Nichtfunktionale Anforderungen Marker - NFAM	63
A.5 Diagramme	63
Anhang B Automatisiertes Auslesen von OPC UA Nodelds durch eine Erweiterung der RestAPI	66
Anhang C Schritt für Schritt zum eigenen KudanAR-Marker	68
Anhang D Studie zur Bewertung von altem und neuem Markerdesign	71
Anhang E Visualisierung des Eingabebefehlssatzes: Berührung	76
Literaturverzeichnis	78

Abbildungsverzeichnis

2.1	UBIK® während der Verwendung auf einem Tablet	4
2.2	Handgesten dienen der HoloLens als Eingabe für die Rückmeldung von Arbeitsschritten	5
2.3	AR-Rückkopplungsschleife	8
2.4	KITE Plattform - Handheld AR-System mit externen Sensorkomponenten	11
2.5	Project Tango Tablet - Teile der integrierten Sensorik	12
2.6	Beispielmarker des AR-Frameworks ARToolKit	13
3.1	Bisheriger Marker des MokA-Moduls <i>Abfüllen</i>	25
4.1	Natürliche Körperhaltung beim alltäglichen Gebrauch eines Tablets	28
4.2	Aktivitätsdiagramm zu <i>Eingabe verarbeiten</i> nach UML 2.5	29
4.3	Mockup - visuelle Rückmeldung nach erfolgreicher Interaktion	33
4.4	Mockup - visuelle Rückmeldung nach nicht erkannter Interaktion	33
4.5	Mockup - visuelle Rückmeldung während Verzögerung	33
4.6	Mockup - positive vis. Rückmeldung nach Verzögerung	33
4.7	AR-Markerprototyp auf Basis des neuen Designkonzeptes	37
5.1	Touch-Geste: <i>Steuerung Pumpe</i>	40
5.2	Touch-Geste: <i>Steuerung Ventil</i>	40
5.3	Screenshot der Applikation mit hervorgehobenen Elementen des neuen UI	41
5.4	Vererbungsstruktur zwischen <i>Device</i> und ausgewählten Subklassen in einem Klassendiagramm nach UML 2.5.	43
5.5	AR-Marker: <i>Reaktor</i>	44
5.6	AR-Marker: <i>Mischen</i>	44
5.7	AR-Marker: <i>Filtern</i>	44
5.8	AR-Marker: <i>Abfüllen</i>	44
5.9	Screenshot des UI mit Blick auf die Position des neuen Markers.	45

6.1	Mockup mit Erinnerungssymbol für Interaktion im UI-Prefab des Gerätes	52
6.2	UI-Prefabs der verschiedenen Ventilklassen im direkten Vergleich	52
6.3	Mockup mit Rückmeldung eines Handventils nach einer versuchten Ansteuerung	52
A.1	Anwendungsfalldiagramm: Interaktion	64
A.2	Aktivitätsdiagramm: Geräte steuern	64
A.3	Vererbungsstruktur zwischen <i>Device</i> und dessen Subklassen in einem Klassendiagramm nach UML 2.5.	65
B.1	Aktivitätsdiagramm: <i>Knoten auslesen</i>	67
C.1	Elementpool des neuen Markerdesigns	69
C.2	Marker nach Schritt 1 mit Längeneinheiten und Mittelpunkt	70
D.1	Messmarkierungen, Versuchsaufbau und Zollstock bei einem Winkel von 0°	72
D.2	Abmessung des Winkels von 45° mit Hilfe eines Bindfadens	72
D.3	Mittelwerte für die Nahdistanz im Vergleich	72
D.4	Mittelwerte für die Ferndistanz im Vergleich	72
D.5	Schematischer Aufbau der Studie	73
E.1	Touch-Geste: <i>Steuerung Heizung</i>	77
E.2	Touch-Geste: <i>Steuerung Pumpe</i>	77
E.3	Touch-Geste: <i>Steuerung Rührer</i>	77
E.4	Touch-Geste: <i>Steuerung Ventil</i>	77
E.5	Touch-Geste: <i>Szenenwechsel</i>	77
E.6	Touch-Geste: <i>Applikation beenden</i>	77
E.7	Touch-Geste: <i>Abwahl mehrerer Elemente</i>	77

Tabellenverzeichnis

2.1	AR-Benutzungsschnittstellen im Vergleich	11
4.1	Eingabebefehlssatz: Berührung	31
4.2	Visuelle Ausgaben des Konzeptes	34
4.3	Haptische Ausgaben des Konzeptes	34
6.1	Bewertung der Umsetzung von FAI1 und Unteranforderungen	46
6.2	Bewertung der Umsetzung von FAI2 und Unteranforderungen	47
6.3	Bewertung der Umsetzung von FAI3 und Unteranforderungen	48
6.4	Weitere allgemeine Anforderungen im Bereich Interaktion . . .	48
6.5	Nichtfunktionale Anforderungen der Interaktion und Umsetzungstatus.	49
6.6	Status der Umsetzung funktionaler Anforderungen des Themenbereiches AR-Marker	53
6.7	Ergebnisse der Markerstudie mit vollständigen Messergebnis .	54
6.8	Status der Umsetzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Bereichs AR-Marker	55
C.1	Umrechnungstabelle Breite zu Höhe in LE für den Spezialfall des gleichseitigen Dreiecks	70
D.1	Messwerte der alten Marker für unterschiedliche Versuche . .	74
D.2	Messwerte der neuen Marker für unterschiedliche Versuche . .	75

1 Einleitung

Der Begriff *Virtual Reality* (VR) ist spätestens seit der Markteinführung der HTC Vive oder Oculus Rift in aller Munde. VR ermöglicht das komplette Eintauchen in fremde Welten und ist in unterschiedlichsten Branchen einsetzbar. Der Markt für kommerzielle VR-Anwendungen soll in den nächsten fünf Jahren explodieren. In dessen Windschatten setzt allerdings eine weitere Technik zum Überholmanöver an. Die Rede ist von Augmented Reality (AR), deren Einfluss auf die Industrie weit aus größer eingeschätzt wird [Moo17]. Unter AR versteht man ganz abstrakt die Anreicherung der Realität durch künstliche virtuelle Inhalte [Dö+13]. Zwar ist der enorme Erfolg der populären Smartphone-App *Pokemon GO* nicht unbedingt auf die Verwendung von AR zurückzuführen, dennoch gilt sie als erste Umsetzung, die AR einem breitem Publikum vorgestellt hat [pio17]. Am Professur für Prozessleittechnik der TU Dresden ist im Frühjahr 2017 eine Applikation entstanden, die AR im industriellen Kontext gebraucht. Der Fokus lag in diesem Projekt auf der Präsentation von Prozessdaten. Es fehlt ein intuitives und industrietaugliches Konzept zur Interaktion zwischen Mensch & Maschine in AR. Des Weiteren bedarf es einer grundlegenden Überarbeitung der verwendeten AR-Marker, um deren Leistungspotential voll auszuschöpfen.

Der Inhalt dieser Studienarbeit befasst sich im Folgenden mit der Erarbeitung dieses fehlenden Interaktionskonzeptes und der Überarbeitung verwendeter AR-Marker. Ziel ist es, mithilfe von AR eine Benutzungsoberfläche zu schaffen, welche die Mensch-Maschine-Interaktion vereinfacht und verbessert. Dazu soll zunächst erläutert werden, welche industriellen Rahmenbedingungen vorherrschen und wer als Anwendender einer AR-Applikation in der Prozessleittechnik prädestiniert ist. Anschließend werden die Grundlagen in den Bereichen AR, Interaktion und Markerdesign beschrieben. Darauf aufbauend sollen ein eigenes Interaktionskonzept entwickelt und die Möglichkeiten zur Verbesserung von AR-Merkern untersucht werden. Die Ergebnisse werden dann als Erweiterung der bestehenden Applikation umgesetzt. Abschließend erfolgt eine Auswertung der modifizierten Interaktionsschnittstelle und der neuen Marker, sowie ein Ausblick auf zukünftige Themen.

2 Stand der Technik

Um Interaktionskonzepte zu entwickeln und AR-Marker zu designen, bedarf es einiger grundlegender Erläuterungen. Dazu soll zunächst das industrielle Arbeitsumfeld näher beleuchtet werden, welches die Rahmenbedingungen für spätere Betrachtungen festlegt. Im Anschluss liegt der Fokus auf dem Themenkomplex Augmented Reality. Nach einer allgemeinen Einführung wandert der inhaltliche Schwerpunkt zu Interaktion und Marker in AR.

2.1 Industrielles Umfeld

Eine Prozessanlage besteht aus vielen einzelnen Elementen, wie Pumpen, Sensoren, Tanks oder Ventilen. Unter anderem dadurch lässt sich der erhebliche Wartungsaufwand erklären. Die Forschung in der Industrie ist darum bemüht, alle Elemente einer Prozessanlage und deren Wirken untereinander zu verbessern. Oft werden dafür Prototypen entwickelt, an denen neue Funktionen getestet werden können.

Die Prozessleittechnik beschäftigt sich unter anderem mit neuen Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch & Maschine in großen Prozessanlagen. Ein Anlagenkomplex der Chemie- oder Grundstoffindustrie gleicht heutzutage einer kleinen Stadt. Oft herrscht ein hoher Geräuschpegel aufgrund lauter Maschinen. Auf dem Gebiet der Anlage ist es meist staubig und Maschinen können äußerlich verschmutzt sein. Grund dafür sind beispielsweise Schmieröle oder Ruße aus Abgasen. Kilometerlange Rohrleitungen aus Metall verbinden unterschiedliche Anlagenbereiche. Die verbauten Materialien besitzen oft reflektierende Oberflächen. Strukturell identische Objekte, wie Abgasfackeln, Rohre oder Behälter prägen das Gesamtbild aus der Entfernung. Selbst aus der Nähe ist deren Funktionalität für den Prozess nur einer kleinen Gruppe an Mitarbeitenden bekannt. In der Nacht ist ein erheblicher Teil des Gebietes beleuchtet. Je nach Größe der Anlage fahren viele Fahrzeuge, z.B. Tanklaster, auf den betriebseigenen Straßen. Die Leitwarte, auch Leitstand genannt, bildet die operative Leitung des Industriekomplexes. Sie kontrolliert und überwacht alle Prozesse der Anlage und sorgt

somit für einen reibungslosen Ablauf [Klu14]. Dafür werden weitere Beschäftigte auf dem Gelände der Anlage benötigt. Deren Hauptaufgabe besteht in der Wartung, Reparatur und Instandhaltung aller Anlagenabschnitte. Sogenannte Inspektionsrunden bedeuten einen großen Aufwand für die Arbeitenden, da oft eine unzureichende Datenlage vorliegt, das Planmaterial umfangreich ist, ein Sicherheitsrisiko vor Ort herrscht oder unhandliches Equipment, beispielsweise schwere Industrienotebooks, verwendet werden. Zusätzlich existiert ein enormer Aufwand durch das Pflegen von Formalien in Form von Papier. Die bei der Inspektion anfallenden Informationen werden erst auf Papier festgehalten und dann in Computersysteme übertragen [Gmb].

AR in der Industrie

Obwohl die Partnerschaft aus Industrie und AR noch am Anfang steht, lässt sich nicht bestreiten, dass in industriellen Anwendungen, die AR verwenden, großes Potential steckt. Im Sektor der Unterhaltungsindustrie ist im Juni 2017 gerade Apple mit seinem ARKit [Inc17a], nach Facebook, Microsoft [Mic17] und Google¹, als Letzter dieser großen Technologiekonzerne, massiv in den Markt für AR eingestiegen. Noch gilt die Unterhaltungsindustrie als Technologieführer für AR. Die Industrie wird diese Rolle zunächst nicht übernehmen, da sie eher konservativ gegenüber neuen Technologien eingestellt ist. Neben Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Robustheit, müssen vor allem auch diverse Gesetze und Normen erfüllt werden. Diese sollen vor allem auch den Schutz der Beschäftigten sichern. Unfälle führen zu einer schlechten Berichterstattung, Umsatzeinbußen und im schlimmsten Fall zur Gefährdung von Menschen.

Die Literatur [MBRS11] verweist mit Wartung & Instandhaltung, Fort- & Weiterbildung sowie der Produktentwicklung auf unterschiedliche Bereiche, welche durch den Einsatz von AR profitieren werden. Die Firma *augmensys* entwickelt die Software UBIK®, welche Daten unterschiedlicher Systemanbieter aus einer Prozessanlage auf mobilen Plattformen bereitstellt. AR ermöglicht die Verknüpfung zwischen realem Objekt und digitaler Information über das Einblenden virtueller Inhalte in Relation zu ihrem Bezugspunkt, wie in [Abbildung 2.1](#) angedeutet ist. Den einzelnen Prozessgeräten im Hintergrund sind auf dem Display weitere Daten zugeordnet. Als mobiles Endgerät kann ein

¹: Project Tango [Goo17] & ARCore [Bur17]

Industrie-Tablet verwendet werden. In [Abschnitt 2.1](#) sind die Schwierigkeiten einer Inspektionsrunde in Erinnerung gerufen worden. UBIK® setzt dabei auf sogenanntes *paperless work*. Dabei wird während einer Inspektionsrunde die Papierarbeit des Instandhaltungspersonals reduziert. Das Unternehmen profitiert durch sinkende Kosten, geringere Fehleranfälligkeit und schnellere Arbeitsabläufe [[Gmb](#)].



Abbildung 2.1: UBIK® während der Verwendung auf einem Tablet (Quelle: <http://bit.ly/2FNvjHJ>, zuletzt abgerufen am 06.02.2018)

Ein weiteres Beispiel für die erfolgreiche Integration von AR in den Arbeitsalltag wird in [[Fri17](#)] beschrieben. Die Mitarbeitenden eines Lackherstellers tragen während ihrer Arbeitsschicht chemikalienbeständige Schutzhandschuhe, welche die Eingabe in ein Industrieterminal verhindern. Die Eingaben sind notwendig, da jeder absolvierte Arbeitsschritt an ein Computersystem zurückgemeldet werden muss. In der Vergangenheit wurde dazu alle 30 Minuten eine Pause eingelegt, um alle absolvierten Arbeitsschritte über ein Terminal manuell



Abbildung 2.2: Handgesten dienen der HoloLens als Eingabe für die Rückmeldung von Arbeitsschritten (Quelle: <http://bit.ly/2EozU6a>, zuletzt abgerufen am 06.02.2018)

einzugeben. Die Verwendung einer HoloLens von Microsoft [Mic17], eines Head-Mounted-Displays (HMD), erlaubt nun die Rückmeldung der Arbeitsschritte in Echtzeit über ein virtuelles dreidimensionales Dashboard. Dies wird über AR in das Blickfeld des Arbeitenden eingeblendet, wie in Abbildung 2.2 zu sehen ist. Die Interaktion erfolgt dabei allein durch Handgesten, sodass die Schutzhandschuhe nicht ausgezogen werden müssen. Darüber hinaus erhöhen eingeblendete Checklisten die Arbeitssicherheit der Mitarbeitenden.

Es ist festzustellen, dass der Einfluss von AR nicht nur in der Unterhaltungsbranche wächst. Auch die Industrie bedient sich der großen Vielfalt an Möglichkeiten, die Augmented Reality eröffnet. Dennoch ist die Anzahl an Unternehmen, die AR in der Industrie verwenden, momentan noch verhältnismäßig gering.

2.2 AR - Augmented Reality

Auf die Beschreibung der aktuellen Arbeitssituation im Prozessumfeld soll nun das Themengebiet Augmented Reality (im Folgenden AR²) folgen. Obwohl im Laufe der Zeit mehrere unterschiedliche Definitionen von AR entstanden sind, berufen sich wissenschaftliche Abhandlungen [Dö+13; MBRS11; SH16] zumeist auf die Arbeit von Azuma [Azu97]. Diese ordnet AR allgemein drei Eigenschaften zu:

- Kombination bzw. Überlagerung von Realität und Virtualität
- Interaktion in Echtzeit
- Dreidimensionaler Zusammenhang zwischen virtuellen und realen Objekten

Heutzutage wird unter dem Begriff *AR* meist die Erweiterung der Realität durch virtuelle Elemente in visuellen Anwendungen verstanden. Man kann aber auch von akustischer oder haptischer AR sprechen [SH16]. Allerdings konzentriert sich Azuma im wesentlichen auf die technischen Merkmale und vernachlässigt gänzlich Anwendungaspekte [MBRS11]. AR kann deshalb auch als Erweiterung der Sinneswahrnehmung eines Menschen beschrieben werden. Somit ist dieser mittels AR beispielsweise in der Lage Infrarotstrahlung wahrzunehmen, sich nach dem Magnetfeld der Erde zu orientieren oder die genaue Distanz zu einem Gegenstand zu messen [MBRS11].

Nachdem nun eine Definition des Begriffes AR existiert, geht es im Folgenden um Aufbau und Funktionsweise eines AR-fähigen Systems, wobei sich auf visuelle AR-Systeme beschränkt werden soll. Zu diesen gehören grundlegend die drei Bausteine Tracking, Registrierung und Visualisierung [SH16], die in Abbildung 2.3 grün markiert worden sind. Unter Tracking³ versteht man die Berechnung bzw. Schätzung der Pose, das heißt die Kombination aus Lage und Orientierung im Raum. Das geometrisch⁴ und photometrisch⁵ richtige Einpassen virtueller Inhalte wird Registrierung genannt. Die eigentliche Augmentierung

²deutsch: erweiterte bzw. vergrößerte Realität

³: An dieser Stelle sei auf die mathematische Erläuterungen und Beschreibungen zum Thema Tracking in [Dö+13] & [SH16] verwiesen.

⁴perspektivisch

⁵korrekte Beleuchtung

erfolgt bei der Visualisierung bzw. der Darstellung von virtuellen Inhalten unter Berücksichtigung der Pose und der Registrierung [Dö+13]. Manchmal verwendet die Literatur auch den Begriff *Rendering* [MBRS11]. In visuellen AR-Systemen werden Kamera-Streams als Input für Tracker verwendet. Die Registrierung erfolgt softwareseitig und ist sehr rechenintensiv. Die Visualisierung wird meist auf Displays oder Monitoren realisiert. Zusätzlich kann man eine Datenbasis noch als vierten Baustein erwähnen. In Abbildung 2.3 ist dieser gelb eingefärbt. Diese Datenbasis kann dem Tracker als Referenz zur Positionsbestimmung dienen und als Quelle des virtuellen Inhaltes benutzt werden [SH16]. Sie enthält beispielsweise Merkmale über konkrete Objekte, welche der Tracker erkennen soll. Eine Möglichkeit, diese Merkmale zu codieren, ist die Benutzung von AR-Merkern. Näheres hierzu wird in Unterabschnitt 2.2.2 erläutert. Als Quelle für virtuelle Inhalte können unter anderem externe Server verwendet werden, die je nach getracktem Objekt unterschiedliche Informationen bereitstellen.

Die in Abbildung 2.3 eingezeichnete Verbindung zwischen *Visualisierung* und *Benutzendeneingabe und Kamerabewegung* kann als Rückkopplung in einem vereinfachten Schema für Mensch-Maschine-Systeme verstanden werden [SH16]. Der Anwendende interagiert mit dem AR-System und dieses reagiert je nach Status des Trackers mit der Überlagerung von Realität und Virtualität. Der Anwender erhält in Echtzeit Rückmeldung über das Ergebnis seiner Interaktion mit der Maschine. Somit fördert AR im weitesten Sinne die Kommunikation zwischen Mensch & Maschine [MBRS11].

2.2.1 AR-Interaktionsmöglichkeiten

Zur Kommunikation zwischen einem Sendenden und Empfangenden bedarf es nach [MBRS11] auch immer einer Botschaft. In einem Mensch-Maschine-System empfängt eine Maschine die Botschaften des Menschen stets über eine Benutzungsoberfläche. Ganz klassisch ist die Benutzungsoberfläche ein Sammelbegriff für Komponenten und Bedienelemente nebst aller wahrnehmbaren Aktionen und Reaktionen einer technischen Einrichtung, die der Kommunikation mit ihren Benutzenden dient [Komi]. In AR kommuniziert der Benutzende über Interaktionen mit dem Computersystem. AR lässt dabei einen Raum entstehen, der ganze neue Möglichkeiten für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine bietet. Der Duden deutet nach [Dud17] den Begriff *Interaktion* als Wechselbeziehung zwischen zwei Handlungspartnern, also die Summe

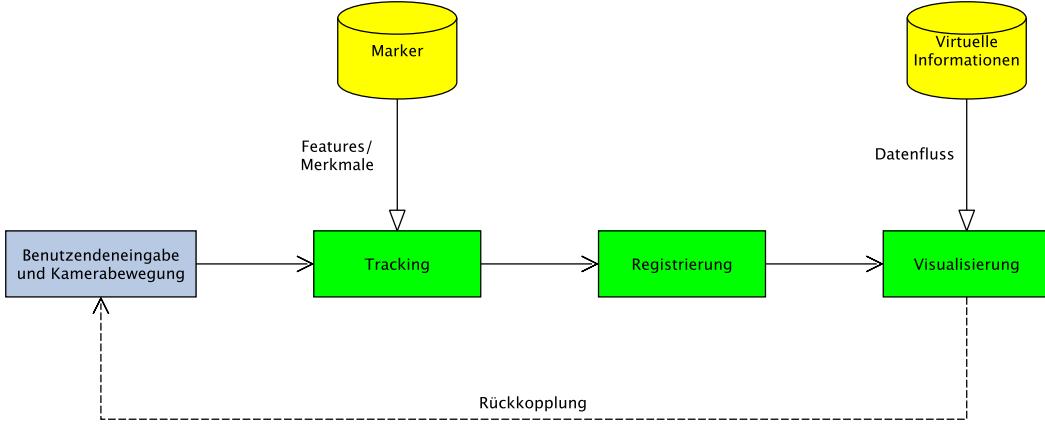


Abbildung 2.3: AR-Rückkopplungsschleife (angelehnt an [SH16]: S.4 - *Figure 1.1*)

aus Aktionen und Reaktionen. Im Kontext von Benutzungsoberflächen haben sich die Bezeichnungen Eingabe und Ausgabe im allgemeinen Sprachgebrauch etabliert. Klassische Interaktionswege zwischen Mensch und Maschine, wie Tastatur und Maus als Eingabe und Bildschirm als Ausgabe, entsprechen nicht den Interaktionsmöglichkeiten zwischen zwei Menschen, welche untereinander über Sprache, Gestik, Mimik oder Berührung interagieren. Diese Menge an Interaktionen ist dem Menschen vertraut und er beherrscht sie von Natur aus.

AR erlaubt nun die Verwendung dieser bekannten Kommunikationsformen in der Mensch-Maschine-Interaktion. Darüber hinaus verändert sich durch die Möglichkeit einer Interaktion die Rolle des Benutzenden von einem passiven zu einem aktiven Beobachtenden [SH16]. Der Benutzende wird somit zu einem handelnden Bestandteil in einem AR-System. Dies kann in Folge eines Sprachbefehls, den das AR-System erkennt, analysiert und durch eine erweiterte Ausgabe beantwortet, erfolgen. Ebenso erkennen AR-Systeme menschliche Körpergesten, beispielsweise jene der Hand [Piu+13]. Dazu werden die Bilder des Kamera-Streams ausgewertet und auf bekannte Bewegungen untersucht. Bei Handheldgeräten, wie z.B. Smartphones, bietet sich, aufgrund der oft verwendeten Touchdisplays, eine Interaktion durch Berührung an. Diese Form der Eingabe ist dabei heutzutage vielen Menschen aus dem alltäglichen Gebrauch vertraut. [Abbildung 2.3](#) visualisiert mit dem Block *Benutzeneingabe und Kamerabewegung* den Anwendenden innerhalb des AR-Systems.

Eine AR-fähige Benutzungsschnittstelle, erlaubt dem Menschen die Verwendung seiner natürlichen Interaktionswege in der Kommunikation mit Maschinen. Es ist darauf zu achten, dass die Interaktionsart zugleich intuitiv benutzbar [MBRS11] und durch das AR-System sicher bzw. stabil erkennbar ist. Durch intuitive Interaktionen verringert sich die Einarbeitungsphase und erhöht sich die Akzeptanz des Systems bei neuen Benutzenden. Dennoch kann keine Kommunikation zwischen Mensch & Maschine stattfinden, wenn der Interaktionsversuch des Menschen durch das System nicht erkannt wird. Die hier zwangsläufig entstehende Abschätzung zwischen Usability, Userexperience und stabilem Tracking kann nur durch bessere Hardware, wie Kameras oder größere Rechenleistung, in AR-Systemen umgangen werden.

Aktuelle Benutzungsoberflächen auf Basis von AR

Intuitive und natürliche Interaktionsmöglichkeiten können dazu beitragen, dass sich AR-Anwendungen auch in der Industrie vermehrt durchsetzen werden. Die Interaktion mit Maschinen bzw. Computern wird so weit vereinfacht, dass sie sich während der Benutzung komfortabel und vertraut anfühlt, was die Akzeptanz der Technik und die Motivation am Arbeitsplatz erhöht. Die Interaktion in AR ist zunehmend in den Fokus der Wissenschaft geraten, sodass mittlerweile unterschiedlichste Interaktionsvarianten vorgestellt wurden [HK13; KP10; HW12]. Diese werden in der Literatur meist als Bestandteil einer Benutzungsoberfläche⁶ vorgestellt. Pierre Ducher verweist in [Ducto] auf die nachfolgende Kategorisierung von Benutzungsschnittstellen aus [KP10]:

- Tangible UI & 3D-pointing
- Haptic UI & gesture recognition
- Visual UI & gesture recognition
- Gaze tracking
- Aural UI & speech recognition
- Text input
- Hybrid UI

⁶: engl. user interface (UI)

Diese erscheint nach heutigem Stand der Technik sinnvoll, da sie eine gezielte Einordnung von neuen Interaktionsmechaniken nach deren Medium ermöglicht. Dadurch lassen sich schnell Vor- und Nachteile für einzelne Kategorien ableiten. Anhand dieser kann bewertet werden inwiefern eine Eingabemöglichkeit für den erdachten Einsatzbereich sinnvoll ist. Im konkreten Fall des in [Abschnitt 2.1](#) beschriebenen prozesstechnischen Umfeldes, sind offensichtlich einige nur bedingt oder überhaupt nicht einsetzbar, der Vollständigkeit halber aber hier aufgelistet.

Der Fokus soll nun auf den für diese Arbeit relevanten Interaktionsvarianten liegen. [Tabelle 2.1](#) stellt diese in einigen Bereichen untereinander in Bezug. Bei Tactile UIs handelt es sich um eine Unterkategorie der Haptic UIs. Alle in [Tabelle 2.1](#) aufgelisteten Kategorien sind jeweils für eigene Anwendungsbereiche entwickelt worden. Die einzelnen Nachteile können durch die Kombination mehrerer Interaktionsformen in einem eigenen UI ausgeglichen werden. In der Literatur wird dafür der Begriff *Hybrid UI* verwendet [KP10]. Der Vorteil hierbei liegt vor allem in der Verbesserung der Userexperience, da gleichzeitig mehrere, dem Menschen vertraute, Interaktionsformen benutzt werden können. Die Kombination von mehreren Interaktionsvarianten in einer Benutzungsoberfläche wird auch *Multimodal Interaction* genannt [SH16]. Der Nachteil liegt momentan noch in der Verwendung von umfangreicher Hardware und deren teilweise geringer Rechenleistung. Das in [Abbildung 2.4](#) dargestellte KITE beispielsweise ist aufgrund der verwendeten Bestandteile verhältnismäßig schwer und unhandlich. Googles Project Tango⁷ und Apples ARKit verwenden die integrierten Sensoren ihrer Geräte, sodass keine zusätzliche externe Hardware benötigt wird. Des Weiteren ermöglicht die Kenntnis über die exakte Hardwarestruktur ein Programmieren, welches die Rechenleistung des Gerätes möglichst optimal nutzt und dadurch auch auf vermeintlich schwachen ARM-CPUs ein AR-Erlebnis ermöglicht. Dieser Vorteil wird jedoch durch die Reglementierung auf exklusive Geräte, wie dem iPhone, wieder aufgewogen.

2.2.2 AR-Marker

Eine kostengünstigere Variante, welche ein stabiles Tracking ermöglicht, ist die Verwendung von AR-Markern. Diese können, neben der Interaktion, auch zur Orts- oder Objektbestimmung verwendet werden. Ganz allgemein ist unter

⁷Rückseite des Tango-Tablets [Abbildung 2.5](#). Weitere Informationen über Google Tango unter: [Goo17]

Tabelle 2.1: AR-Benutzungsschnittstellen im Vergleich

	Tactile-UI	Visual-UI & GR	Gaze tracking	Aural-UI & SR
Interaktionsmedium	Berührung	Gesten	Blick	Sprache
Technik	Touchscreens & Vibration	(Tiefen-)Kameras	Augen filmen-de Kameras	Mikrophone & Lautsprecher
Vorteile	haptisches Feedback auf Bildschirm	freie Hände	keine Hände	keine Hände, nat. Interaktion: Sprache
Nachteile	Benutzung Hand, Hand verdeckt Bildschirm	kein Feed-back, event. stationäre Kameras, Hand im Blickfeld der Kamera	Kalibrierung, unwillkürliche Augenbewe-gungen	Umgebungsgeräusche, Mehrdeutigkeit in Sprache
Beispiele	Tablets & Smartphones	HoloDesk	Google Glasses	Siri, Cortana, Google Assistant

Abkürzungen:

GR – gesture recognition (dt. Gestenerkennung)

SR – speech recognition (dt. Spracherkennung)



Abbildung 2.4: KITE Plattform - Handheld AR-System mit externen Sensorkomponenten (Quelle: [PCB13], Figure 1 auf S.1)

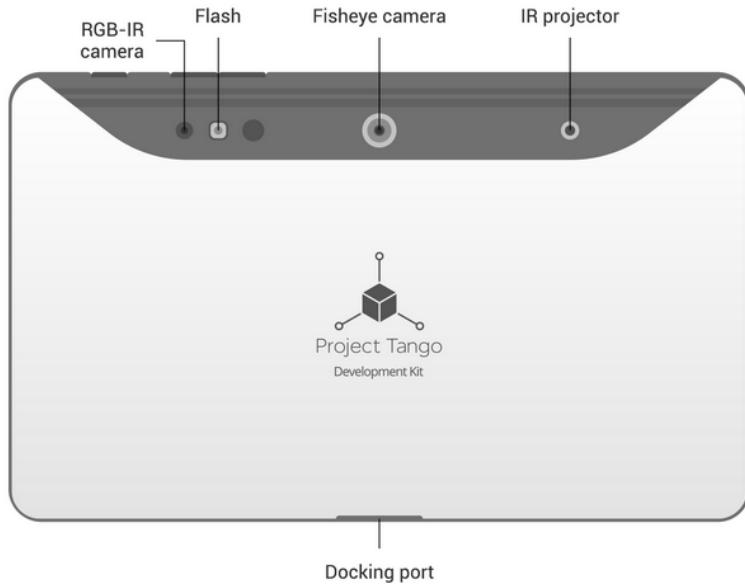


Abbildung 2.5: Project Tango Tablet - Teile der integrierten Sensorik (Quelle: <http://bit.ly/2nKQP9B>, Figure 2, zuletzt abgerufen am 06.02.2018)

einem Marker ein markantes Objekt zu verstehen, dass speziell für eine AR-Anwendung hergestellt und verwendet wird. Zum Einen markiert ein Marker den Ort an dem eine spezielle AR-Applikation benutzt werden kann, zum Anderen dient er als Auslöser, ohne den es kein AR-Erlebnis geben würde. Selbst in anspruchsvollen Umgebungen, mit geringen Kontrasten, vielen Spiegelungen bzw. Lichtreflexionen oder wiederholenden Strukturen [SH16] ist AR mit Hilfe von speziellen Markern möglich. Diese treten, wie in [Abschnitt 2.1](#) beschrieben, oft in Anlagen der Prozessindustrie auf, sodass funktionale Marker und Interaktion direkt miteinander zusammenhängen. Des Weiteren unterstützen sie leistungsschwächere AR-Systeme bei einem sicheren und stabilen Tracking [SH16], denn sie erlauben die Verwendung einfacher und dadurch oft stabilerer Algorithmen in der Bilderkennung. Die wissenschaftliche Literatur ordnet die Verwendung von Kameras in Kombination mit einer Bilderkennungssoftware dem optischen Tracking zu [SH16]. Dabei wird das Bild der Kamera nach sogenannten Features durchsucht. Features sind markante Punkte oder Bereiche in einem Bild, z.B. starke Kontrastübergänge oder individuelle Strukturen. Viele Kameras können die Intensitäten von Licht besser wahrnehmen als dessen Farbe. Sie sind in



Abbildung 2.6: Beispielmarker des AR-Frameworks ARToolKit (Quelle: <http://bit.ly/2nMLNZb>, zuletzt abgerufen am 06.02.2018)

ihrer Funktionsweise dem menschlichen Auge nachempfunden [PTDnt]. Die Verwendung unterschiedlicher Farben besitzt einen geringen Mehrwert, sodass sich das farbliche Design aktuell verwendeter AR-Marker, wie zum Beispiel in [Abbildung 2.6](#) zu sehen, oft auf schwarz-weiß beschränkt. Neben möglichst großen Intensitätsunterschieden existieren nach [Kud16] weitere Designkriterien, die einen AR-Marker auszeichnen können:

- Markante Beziehung zwischen mehreren Features, wie z.B. Geometrie
- Features für unterschiedliche Skalierungen bzw. Abstände zwischen Marker und Kamera
- Ausgewogene Verteilung von Features auf dem Marker

Aktueller Einsatz von AR-Markern

Während die Wissenschaft vermehrt Publikationen zum Thema AR-Interaktionen veröffentlicht, scheint die Forschung zu AR-Markern ca. seit dem Jahr 2002 grundlegend abgeschlossen zu sein. Der Trend liegt nach [ZDB08] zukünftig auf einer markerlosen Funktionsweise. In der Literatur wird dafür unter anderem der Begriff *markerless tracking* gebraucht. Die Features werden anhand natürlicher Strukturen innerhalb der Kameraszene abgeleitet [MBRS11]. Zusätzlich werden die interne Sensoren der Geräte, wie GPS oder Gyro-Sensor, als zusätzliche Datenquellen ausgewertet. In der Unterhaltungsindustrie existieren bereits einige Beispiele⁸. Aktuell gehören AR-Marker dennoch zum Stand der Technik, da sie ihre Funktion gerade im industriellen Umfeld zuverlässig erfüllen [Boc+13]. Die in [Abschnitt 2.1](#) genannten Rahmenbedingungen, wie reflektierende Oberflächen, wiederkehrende Strukturen oder unterschiedliche

⁸: IKEA Place, Lego® AR Studio oder Magicplan

Lichtverhältnisse, beeinträchtigen das *markerless tracking* in seiner Zuverlässigkeit hingegen erheblich [SH16]. AR-Marker können für nahezu beliebige äußere Umgebungen entworfen und verwendet werden.

Eine Kernaussage aus dem vorangegangenen Abschnitt besteht darin, dass die Ermittlung von Features eng mit dem Kontrast zusammenhängt. Betrachtet man den AR-Marker für sich genommen, kann die Gegebenheit von ausreichenden Intensitätsunterschieden leicht beurteilt werden. Im tatsächlichen Einsatz können die von der Kamera erfassten Kontraste jedoch aufgrund der vorherrschenden Umgebungsverhältnisse, wie Licht, erheblich beeinflusst werden. Deshalb existieren viele Möglichkeiten, die eine zuverlässige Erkennung des AR-Markers je nach Umfeld sicherstellen sollen. Am Naheliegendsten ist die Kontrolle des Umgebungslichts über externe Lichtquellen. Diese sorgen für eine konstante Beleuchtung und erlauben somit eine genaue Kalibrierung der Kamera bei festen Rahmenbedingungen, was ein stabileres Tracking ermöglicht. Die gezielte Illuminierung von AR-Marker kann verwendet werden, wenn die Kontrolle des Umgebungslichtes nicht möglich oder unerwünscht ist. In der Literatur ist der Begriff *aktive* bzw. *passive Illumination* geprägt worden. Sind Kamera und integrierte Lichtquelle integraler Bestandteil des Trackingsystems wie z.B. bei Infrarotkamera und -sensor, spricht man von *active illumination*. Unter *passive illumination* versteht man einen Aufbau, bei dem Lichtquelle, wie z.B. eine Zimmerlampe, und Kamera unabhängig voneinander arbeiten [SH16].

Stellt man den Gebrauch von Papier als Trägermaterial eines AR-Markers zur Diskussion, ermöglicht dies neue Markerdesigns⁹. Verwendet man reflektierende Materialien oder Farben beim Design der Marker, kann der Kontrastverlauf bzw. der Helligkeitsverlauf des Markers selbst erhöht werden [NKY05]. Auch eine Verwendung von LEDs als Marker ist möglich. Diese können auch im Infrarotspektrum arbeiten und sind somit für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar [SH16].

⁹Beispielsweise ART, Hersteller von kommerziellen AR-Markern

3 Analyse

Wie in [Kapitel 2](#) beschrieben, existiert durch AR auch für die Prozessindustrie ein großes Entwicklungspotential. Man verspricht sich vor allem in dem Themenbereich Benutzungsoberflächen einige Verbesserungen. Im Folgenden sollen für einen Prototypen an der Professur zunächst Anforderungen erarbeitet und dann bestehende Lösungsansätze untersucht werden. Anschließend erfolgt der eigentliche Entwurf der Benutzungsschnittstelle und die Überarbeitung des Markerdesigns.

3.1 Anforderungsdefinition

Um funktionale und nichtfunktionale Anforderungen¹ zur Interaktion in AR und zum Markerdesign zu definieren, muss eine Präzisierung der Aufgabenstellung vorgenommen werden. Danach wird auf den Umgebungskontext eingegangen. Außerdem werden die Personen vorgestellt, welche die AR-Applikation nutzen werden.

3.1.1 Präzisierung der Aufgabenstellung

Das Ziel dieser AR-Applikation besteht darin, eine Mensch-Maschine-Benutzungsoberfläche im Kontext der Prozessindustrie zu entwickeln, die auf natürlichen, zwischenmenschlichen Interaktionsmethoden basiert. Man verspricht sich dadurch eine verbesserte Userexperience, sodass Menschen besser und effektiver mit Maschinen zusammen arbeiten können.

3.1.2 Umgebungskontext

Im konkreten Fall handelt es sich bei der Maschine um die Modulare Konti-Anlage (MokA) der Professur für Prozessleittechnik an der TU Dresden. Sie

¹: Die hier formulierten Anforderungen können als Erweiterung der bereits in [\[Ger+03\]](#) festgehaltenen Anforderungen der AR-Applikation verstanden werden.

3 Analyse

dient als Forschungsumgebung, um Fragestellungen aus dem Bereich der modularen Automation zu beantworten. Die MokA besteht aus vier unterschiedlichen Modulen, die *Abfüllen*, *Filtern*, *Mischen* und *Reaktor* heißen. Diese sind auf ca. 1 x 1 Meter großen Rolltischen mit Industrischienen montiert und lassen sich prinzipiell frei bewegen. Es bestehen also keine räumlichen Zwangsbedingungen und funktionalen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Modulen. Die Anlage und die zugehörige Steuerung passen bequem in ein Labor der Professur. Jedes Modul besitzt als Schnittstelle zum Leitsystem einen eigenen OPC UA Server. OPC UA² ist ein plattformunabhängiges M2M-Kommunikationsprotokoll, das durch die OPC Foundation gepflegt wird. Durch einen *Aggregating Server* werden die Prozess- und Steuerungsdaten aller Module zentral in einem OPC UA Server zusammengefasst. Als OPC UA Client fungiert ein Webservice auf Basis von Node.js³, der über eine RestAPI angesprochen werden kann. Des Weiteren existieren Linked Data⁴-Modelle der einzelnen Module. Diese Datenbasis enthält statische Anlagendaten, beispielsweise über den Aufbau und die Konfiguration, der einzelnen Module. Es existiert Daten-Netzwerk, das all diese Dienste miteinander verknüpft. Des Weiteren ist jedem MokA-Modul ein eindeutiger AR-Marker zugeordnet, der an der jeweiligen Frontseite angebracht ist. Für das Funktionieren der Applikation ist es zwingend notwendig, dass der AR-Marker durch die Kamera erkannt wird, sodass er weder verdeckt werden darf, noch spontan verschoben werden kann.

Als Ein- und Ausgabegerät soll das Tablet Nexus 9 der Marke HTC verwendet werden. Dies besitzt unter anderem einen WiFi-Adapter und kommuniziert mit dem eben beschriebenen Netzwerk über WLAN. Als Betriebssystem ist auf dem Tablet Android 7 installiert. Das Nexus 9 kann als Vertreter der in [Abschnitt 2.2](#) eingeführten visuellen AR-Systeme verstanden werden. Die dafür notwendige AR-Applikation wird mithilfe der Entwicklungsumgebung Unity und dem AR-Framework KudanAR programmiert.

[Abbildung A.1](#) soll unterschiedliche Anwendungsfälle für Interaktionen im Prozessumfeld visualisieren und gibt gleichzeitig auch einen schematischen Überblick über den Aufbau der Produktumgebung. Neben dem menschlichen, ab-

²: Näheres zu OPC UA und der OPC Foundation kann der offiziellen [Internetseite](#) entnommen werden.

³: Weiterführende Informationen zu [Node.js[®]](#)

⁴: Weiterführende Informationen zu [Linked Data](#)

strakten Akteur *Benutzenden*, dessen konkrete Akteure in [Unterabschnitt 3.1.3](#) ausführlicher charakterisiert werden, existieren weitere maschinelle Akteure, welche mit dem System über den Akteur *RestAPI* in Verbindung stehen und deren Abhängigkeiten bereits erläutert wurde. Die Rolle des Systems übernimmt das Nexus 9. Der abstrakte Anwendungsfall *Gerät steuern* wird als Aktivitätsdiagramm ausführlicher in [Abbildung A.2](#) und dessen Begleittext in [Abschnitt A.5](#) erläutert.

3.1.3 Charakterisierung anwendungsprädestinierter Menschen

In der Arbeitswelt ist der Gebrauch von Tablets aufgrund ihrer großen Mobilität zum Alltag geworden. Auch ein vermehrter Einsatz im industriellen Umfeld ist denkbar. Als Hardware für die in [Abschnitt 2.1](#) beschriebene Software UBIK® kann beispielsweise ein Tablet dienen. Nach [Unterabschnitt 3.1.2](#) wird in diesem Projekt ein Nexus 9 als Mensch-Maschine-Schnittstelle verwendet. Diese soll vor allem von Ingenieuren und Ingenieurinnen aus dem Bereich der Elektro-, Informations- und Verfahrenstechnik genutzt werden. In [Abbildung A.1](#) ist dies durch den Akteur *Ingenieur* visualisiert. Diesem ist der Gebrauch von technischen Hilfsmitteln im Arbeitsalltag vertraut. Das Umfeld der Prozesstechnik ist bekannt, sodass typische Symbole, auditive Signale, Grafiken, Arbeitsmethoden und -abläufe, Sicherheitskriterien, Systemstrukturen, sowie Benutzungsschnittstellen erkannt, verstanden und genutzt werden können. Auch die Funktionsweise und der Gebrauch von OPC UA, LinkedData und einer RestAPI sind bekannt. Durch dieses Expertenwissen werden keine zusätzlichen Kenntnisse oder Fortbildungen benötigt, um die fertige Applikation verwenden zu können. Die Ingenieure und Ingenieurinnen nutzen das Tablet als mobile Benutzungsschnittstelle für Prototypen, wie die in [Unterabschnitt 3.1.2](#) beschriebene MokA. Sie wirken dabei meist in der Rolle des Forschenden, der die Benutzungsschnittstelle zur schnellen visuellen Überprüfung oder Korrektur von Prozesswerten nutzt. Seltener treten sie in der Rolle des Präsentierenden auf, der den Prototypen mit Hilfe der Applikation, z.B. auf Messen, vorstellt. An dieser Stelle kann eine weitere Gruppe von möglichen Benutzenden eingeführt werden, die nur teilweise oder gar nicht über das beschriebene Expertenwissen verfügt. Sie treten in der Rolle des Kunden oder Interessierten auf, der die Applikation rudimentär ausprobieren möchte. Allgemeine Kenntnisse über die Verwendung von Tablets sind vorhanden. Dennoch kann nicht gewährleistet werden, welches Anwendungswissen vorliegt, sodass den unterschiedlichen Rollen individuelle

3 Analyse

Bedienrechte zuzuteilen sind. Experten genießen den vollen Funktionsumfang, während Laien ein verringelter Funktionsumfang zur Verfügung gestellt wird.

Menschen mit körperlichen Behinderungen, wie Amaurose und Achromasie⁵, Surditas⁶, Stummheit oder Berührungsunempfindlichkeit, sind in der Benutzung der Applikation unterschiedlich stark beeinträchtigt, sodass sie mehr oder minder eine der beschriebenen Rollen einnehmen können.

3.1.4 Anforderungen

Die ausformulierten Nutzeranforderungen sind aus Übersichts- und Leseflussgründen in Anhang A ausgegliedert worden und unterteilen sich wie folgt:

Abschnitt A.1: Interaktion - Funktionale Anforderungen

Abschnitt A.3: Interaktion - Nichtfunktionale Anforderungen

Abschnitt A.2: Markerdesign - Funktionale Anforderungen

Abschnitt A.4: Markerdesign - Nichtfunktionale Anforderungen

3.2 Mögliche Interaktions- und Markerdesignvarianten

Als Vorbereitung auf den Entwurf in Kapitel 4 sollen nun zunächst verschiedene Lösungsstrategien aus dem Bereich AR und Interaktion in Unterabschnitt 3.2.1 analysiert werden. Als Grundlage dienen die in Unterabschnitt 2.2.1 beschriebenen Interaktionsmöglichkeiten, deren verwendete Methoden untersucht werden sollen. Anschließend liegt der Fokus auf den aktuellen Markern. Für ein neues Markerdesign soll in Unterabschnitt 3.2.2 begutachtet werden, welche Stärken und Schwächen das aktuelle Design besitzt und wo Verbesserungsbedarf besteht. Als Referenz für ein gutes Markerdesign sollen die in Unterabschnitt 2.2.2 genannten Kriterien verwendet werden.

3.2.1 Analyse verschiedener Interaktionskonzepte

In Unterabschnitt 2.2.1 wurde bereits eine mögliche Einteilung existierender User Interfaces beschrieben. Diese basieren auf den menschlichen Kommunikationsprinzipien:

⁵: (ugs.) Blindheit und Farbenblindheit

⁶: Gehörlosigkeit

3 Analyse

tionsformen⁷ Berührung, Blick, Gestik, Schrift und Sprache. In [Gei90] erfolgt eine ähnliche Klassifizierung der menschlichen Kommunikationswege, die in einer Benutzungsschnittstelle verwendet werden können. Für die Entwicklung eines Interaktionskonzeptes sind deren Vor- und Nachteile, sowie das Einsatzpotenzial aus Sicht der Prozesstechnik zu analysieren.

Sprache

Das in [Abschnitt 2.1](#) beschriebene industrielle Prozessumfeld erlaubt es, die **Sprache** an dieser Stelle aus der Betrachtung auszuschließen. Der hohe Lärmpegel erschwert nicht nur die Kommunikation unter den Arbeitenden, sondern auch die Registrierung möglicher Sprachbefehle durch ein AR-System. Eine erhöhte Sprachlautstärke stellt keine Lösung dar, da sie die Immersion des AR-Erlebnisses stört. Zwar können, durch den Einsatz von zusätzlichen Mikrofonen, Umgebungsgeräusche heraus gefiltert werden, doch ist die Realisierung aufwendig und die Interpretation eines Satzkontextes für Maschinen auch unter einer normalen Geräuschkulisse nicht zu erfüllen. Vielmehr werden lediglich Stichwörter ausgewertet, denen ein eindeutiger Befehl zugeordnet ist. Eine Konversation würde sich künstlich anfühlen, auch weil die Antwortmöglichkeiten der Maschine begrenzt wären.

Zusätzlich gestaltet sich eine zuverlässige Sprachausgabe als schwierig. Der mögliche Einsatz von Kopfhörern behindert die Kommunikation zur Kollegschaft, es sei den alle würden beispielsweise über Funk miteinander kommunizieren. Final ist zu sagen, dass eine Interaktion über Sprache aktuell in der Prozessindustrie unbrauchbar ist.

Blick

Beim *gaze tracking* wird die Stellung und der Fokus der Augenpupillen überwacht und ausgewertet. Dies erfolgt über eine Kamera, welche dicht vor den Augen positioniert wird. Das *gaze tracking* kann als Eingabe verwendet werden,

⁷: Der Mensch selbst besitzt deutlich mehr Wahrnehmungsformen beispielsweise den Geruch. Er kann Gerüche zwar wahrnehmen und ihnen eine Bedeutung zuordnen, aber selbst nicht gezielt Informationen per Geruch übermitteln. Deshalb ist der Geruch, als bidirektionale Kommunikationsform, in einer Mensch-Maschine-Schnittstelle unbrauchbar. Ähnliches gilt auch für den Geschmack.

3 Analyse

um Objekte, die im Fokus liegen, auszuwählen bzw. zu priorisieren. Dies kann beispielsweise zur Steuerung eines User Interfaces eingesetzt werden. Menschen schauen im Allgemeinen Dinge an, mit denen sie interagieren möchten. Meist ist ein Aspekt fester Konzentration, das Fokussieren des Gegenstandes mit den Augen. Auch bei Objekten in weiterer Entfernung tritt dieses Verhalten auf. Computer können somit aus dem **Blick** ableiten, welche Objekte sich momentan im Interessenbereich des Benutzenden befinden. Die Informationsübermittlung zwischen Mensch & Maschine erfolgt beinahe in Echtzeit. Des Weiteren werden die Hände nicht verwendet. Problematisch dabei ist, dass Augen sich jeweils nur auf ein Objekt fokussieren können. Eine Auswahl von mehreren Objekten ist nicht allein durch das Tracking des Blickes möglich. Außerdem sind ungewollte Reflexe des Auges nicht zu verhindern, sodass die Interaktion gestört werden kann. Dies könnte zu Problemen führen, wenn der Benutzende unkonzentriert arbeitet, wie es beispielsweise am Ende eines Arbeitstages häufig der Fall ist. Allgemein setzt diese Benutzungsfläche ein hohes Maß an Konzentration voraus, um den Blick immer wieder auf neue Objekte zu fokussieren. Das nahe-liegendste Problem besteht darin, dass die Objekte im Blickfeld des Anwenden liegen müssen. Kleine Objekte können durch größere verdeckt werden und somit nicht im Fokus liegen.

Der Mensch nimmt sein Umfeld zu weiten Teilen über seine Augen wahr, sodass visuelle Reize als Ausgabe von Maschinen verwendet werden können. Dies kann durch den Einsatz von visueller AR weiter verstärkt werden. Der Gebrauch von Signalfarben oder das Hervorheben von Objekten durch virtuelle Inhalte sind nur ein kleiner Ausschnitt an mögliche Ausgabevarianten, die realisiert werden können. Visuelle Reize können genutzt werden, um die Aufmerksamkeit des Benutzenden gezielt auf bestimmte Dinge zu lenken. Hier ist zu bedenken, dass eine visuelle Reizüberflutung derart auftreten kann, dass die Schnittstelle zwischen Auge und Gehirn überlastet wird und Informationen ggf. nicht bei dem Benutzenden registriert werden. Abschließend ist zu sagen, dass sich das Auge zur Verwendung in einem User Interface hervorragend eignet, da die Informationen aus natürlichen menschlichen Verhalten abgeleitet werden. Dabei bestehen aber durchaus Herausforderungen.

Text

Eine Interaktion durch **Text** wirkt neben den anderen Interaktionsformen

3 Analyse

fast schon banal und altmodisch. Dennoch steuern Menschen auch heute noch ihren PC über unterschiedliche Shells⁸ und auch immer noch gänzlich ohne die obligatorische Maus. Die institutseigenen *Raspberry Pi* lassen sich ohne weiteres auf eine reine Texteingabe umstellen. Auch Software wird in Form von Quellcode implementiert und kann als Texteingabe verstanden werden, die zur Laufzeit interpretiert wird. Eine Interaktion in AR mittels Texteingabe erscheint aber unwirklich. Zum einen bedarf es einer Tastatur, zum Anderen sind vermeintlich einfache Befehle, wie das verschieben einer Datei, in einer Shell durchaus umfangreich. Nicht ohne Grund existieren graphische Benutzeroberflächen mit Maus und Tastatur, die diese Interaktion auf ein simples Drag'n Drop reduzieren. Möglich wäre eine Art Chat zwischen Mensch & Maschine. Die Funktionalität von Chatbots ist in den letzten Jahren rasant gestiegen. Aber auch hier stellt sich die Frage, ob Benutzende diese Benutzungsoberfläche positiv bewerten würden. Schon das Chatten zwischen Menschen ist meist anstrengend, zeitaufwendig und oft missverständlich bzw. mehrdeutig. Ein Chat ist vor allem dann effektiv, wenn er kurz ist und der Fluss an Informationen kompakt erfolgt. Die Möglichkeit zur Texteingabe scheint sinnvoll, wenn alle anderen Eingabevarianten versagen, ist aber eher als sekundäre Eingabemöglichkeit zu sehen.

Im Bereich der Ausgabe ist die Verwendung von Text brauchbar, z.B. für die Beschreibung simpler Navigationselemente oder die Darstellung von Prozesswerten. Auch Fehler bzw. deren ausführliche Beschreibung werden in Computersystemen meist als Text ausgegeben. Eine Eingabe durch Text sollte in einer Benutzungsoberfläche für AR eine untergeordnete Rolle spielen. In deren Ausgabe hingegen kann Text genutzt werden. Eine Verwendung mit Anderen Ausgabevarianten kombiniert deren Stärken und reduziert die einzelnen Schwächen.

Gesten

In der zwischenmenschlichen Kommunikation werden **Gesten** oft unterstützend verwendet. Meist ist ihnen eine eindeutige Bedeutung im jeweiligen Kontext zuzuordnen, was die Konversation vereinfacht. Dies geschieht ohne körperlichen

⁸: Schnittstellensoftware, die Verbindung zwischen Computer und Mensch herstellt. Früher üblich war beispielsweise die Nutzung von Kommandozeilen, heute werden überwiegend grafische Desktop-Umgebungen verwendet.

3 Analyse

Kontakt. Dieses Prinzip kann auch als Eingabe für eine Mensch-Maschine-Schnittstelle verwendet werden. Eine geballte Faust mit abgespreiztem Daumen ist eine bekannte Geste zur Bestätigung. Bei Benutzungsoberflächen eignen sich vor allem Gesten des menschlichen Oberkörpers und insbesondere der Hand. Studien wie [Piu+13] belegen, dass die Interaktion mit Maschinen durch Gesten verallgemeinert werden kann. Das bedeutet, unterschiedliche Menschen verwenden die gleiche Geste für identische Interaktionen. Der OK-Daumen als Bestätigungsgeste ist dafür ein gutes Beispiel. Das Resultat dieser Studie ist ein Gestenset für allgemeine Computerinteraktionen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Gesten unterschiedliche Bedeutungen je nach Kontext besitzen können. So steht das eben beschriebene Handzeichen bei Tauchern für das Auftauchen [sub].

Für die Steuerung von Geräten in der Prozessindustrie existiert aktuell kein derartiges Gestenset, sodass in diesem Bereich Freiheiten für den Entwurf bestehen. Die Gestenerkennung erfolgt meistens durch Kameras. Ein Problem dabei ist, dass die zu trackenen Körperteile im Blickfeld der Kameras liegen müssen. Aktuelle Trackingmethoden können in das bestehende Arbeitsumfeld einer Prozessanlage integriert werden, ohne die Benutzenden in ihren Abläufen zu stören. Kameras können Handgesten auch mit Sicherheitshandschuhen erkennen oder der Handschuh ist selbst der Sensor. Dieses Prinzip wurde durch das Professur für Prozessleittechnik an der TU Dresden umgesetzt [Dör09]. Dabei werden Sicherheitshandschuhe um eine Sensoreinheit mit Gyroskop, Beschleunigungssensor und Button erweitert. Eine ebenfalls am Körper angebrachte Driver Unit sorgt für die Energieversorgung und stellt die Komponenten zur kabellosen Datenübertragung bereit. Die Verbindung zu anderen Geräten erfolgt über Bluetooth [Zie+12]. Eine weitere, bereits kommerziell umgesetzte, Variante des kameralosen Gestentrackings bietet die Firma Myo mit einem Armband, dass Gesten anhand elektrischer Impulse der Muskeln erkennt [Pri15]. Aktuell existieren jedoch keine industriellen Verwendungen. Das Armband wird über Bluetooth mit anderen Geräten verbunden. Allgemein bilden Gesten eine bereits industriell erprobte Eingabeviariante für Benutzungsoberflächen. Da Maschinen selbst meist keine menschlichen Gesten verwenden können, ist ein Gebrauch von Gesten in einer User-Interface-Ausgabe auf den ersten Blick nicht denkbar. AR bietet jedoch die Möglichkeit einen virtuellen Avatar in das Blickfeld des Benutzenden einzublenden, der menschliche Gesten als eine Form der Ausgabe gebrauchen könnte [SH16].

Berührung

Als letzte Interaktionsmechanik verbleibt der direkte, physische Kontakt, z.B. durch Berührung. Dieser gestaltet sich naturgemäß bei virtuellen Inhalten schwierig. Dennoch ist diese Form des Feedbacks für die Akzeptanz neuer Technik bei Menschen sehr wichtig. Viele Produkte verkaufen sich auch deshalb gut, weil sie sich gut anfühlen. Die in [Hay+] beschriebenen Eingabegeräte simulieren während der Interaktion physikalische Eigenschaften der Objekte, z.B. deren reales Gewicht durch unterschiedliche Kraftwiderstände. Dabei sind sie aber meist stationär gebunden und eignen sich nicht für eine mobile Anwendung. Ein Kompromiss stellen Touchscreens in Kombination mit integrierten Vibratoren dar. Sie erlauben eine bidirektionale Interaktion durch Berührung, können aber nicht wirklich die physikalischen Eigenschaften simulieren. Durch Vibrationen kann das Gerät haptische Ausgaben erzeugen. Ein Prinzip, das sich seit Jahren in Smartphones und Tablets bewährt. Vibratoren können auch in andere Gadgets, wie Armbändern, eingebaut werden, sodass nicht zwangsläufig die Verwendung eines Touchscreens notwendig ist. Eine interessante Erweiterung des bestehenden Touchscreens bietet Apple mit seinem sogenannten *3D Touch* für iPhones und iPads. Diese Technik wertet zusätzlich die Stärke des aufgebrachten Drucks aus und bietet einen erweiterten Eingabebefehlssatz [Inc17b]. Die Firma Bosch geht mit *neoSense* noch einen Schritt weiter und verändert gezielt die Oberfläche von Touchdisplays, sodass der Eindruck entsteht, dass analoge Knöpfe gedrückt werden [BS17].

3.2.2 Diskussion unterschiedlicher Markerarten

In [Unterabschnitt 2.2.2](#) wurde erläutert, welche Designkriterien ein guter AR-Marker besitzt. Die im weiteren Verlauf dieses Abschnittes beschriebenen aktuellen Marker nutzen viele dieser Kriterien und dienen später als Ideenquelle für das Erzeugen eines eigenen Designkonzeptes. Dieses soll auf den aktuell verwendeten Markern basieren, sodass deren Aufbau zunächst begutachtet werden muss. Die Marker werden momentan durch einen kostenlosen Generator⁹ im Internet automatisch erzeugt. [Abbildung 3.1](#) ist der zur Zeit genutzte Marker des Moduls *Abfüllen* der MokA und dient als Referenz in der folgenden Analyse. Laut Begleittext des Generators ist jeder Marker einzigartig, da er randomi-

⁹: [Markengenerator von Brosvision](#)

3 Analyse

siert erstellt wird. Der Aufbau der Marker besteht aus den drei geometrischen Elementen Linien, Drei- und Vierecken. Optional können Flächen auch farbig gefüllt werden, sonst erfolgt die Kolorierung in unterschiedlichen Grautönen. Die in der MokA aktuell verwendeten Marker erlauben ein stabiles Tracking aus ca. 80 cm Entfernung¹⁰. Nach der Erkennung des Markers kann der Bedienende ungefähr vier weitere Meter zurückweichen, ohne den Marker durch den Tracker zu verlieren. Ist dies der Fall muss wieder an die Anlage herangetreten werden. Das Tracking aus unterschiedlichen Winkeln funktioniert nur bedingt, sodass an dieser Stelle noch nachgebessert werden muss. Der Kontrast besteht aus Übergängen zwischen schwarz und weiß. Die in [Abbildung 3.1](#) rot markierten Bereiche sind Stellen, an denen viele Kontrastübergänge auf einem kleinen und kompakten Gebiet stattfinden. Hier existiert eine hohe Featuredichte, die nur aus einem geringen Abstand erkannt werden kann. Mit steigender Entfernung sind diese Features nicht mehr zu erkennen und dadurch unbrauchbar. Hier liegt ein großes Problem, da der Marker dadurch auf mittleren und großen Entfernungen nicht genügend erkennbare Features besitzt und somit schwer zu tracken wird. Bezieht man zusätzlich die Anforderungen nach [Abschnitt A.2](#) und [Abschnitt A.4](#) in die Analyse ein, folgen weitere Inhalte, die in das zu entwickelnde Markerdesign aufgenommen werden müssen. Punkte wie unterschiedliche Lichtverhältnisse, Erscheinungsbild der Anlage und die Einbeziehung des Prozessumfeldes werden aktuell nur mangelhaft erfüllt. Das Design der aktuellen Marker ist, wie schon in [Kapitel 1](#) angedeutet, überarbeitungswürdig.

Analysiert man aktuelle Marker-Lösungen, bieten sich im industriellen Umfeld die Verwendung von Infrarotlichtquellen und -kameras an. Diese arbeiten in einem anderen Spektrum, sodass die allgemeine Beleuchtung der Anlage ignoriert werden kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Menschen die Marker nicht wahrnehmen. Alternativ bietet sich eine Kontrasterhöhung durch die Verwendung von Reflektoren an. Diese könnten auch Teil einer Tinte sein, sodass der Marker wieder gedruckt werden könnte. Generell ist der Gebrauch von Markern ohne externe Unterstützung, wie Beleuchtung, nur im Nahbereich zuverlässig möglich, da der Erfolg des Trackings primär von den vorherrschenden Lichtverhältnissen abhängt. Ein gutes Markerdesign kann den Aktionsradius daher nur bedingt verbessern.

¹⁰: Diese Werte sind das Resultat der in Anhang D beschrieben Studie. [Tabelle D.1](#) listet alle Messwerte des alten Markerdesigns auf.

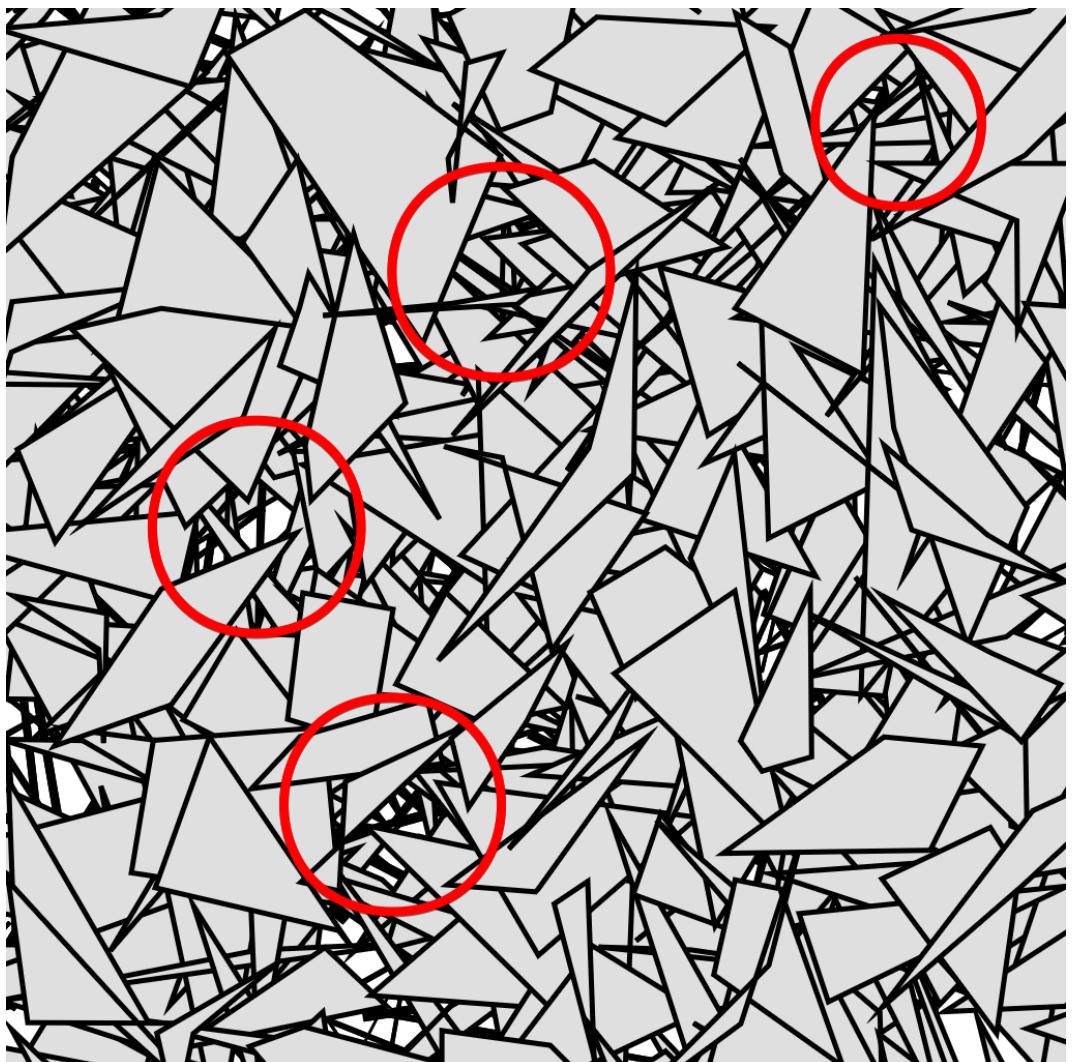


Abbildung 3.1: Bisheriger Marker des MokA-Moduls *Abfüllen*

4 Ausarbeitung konkreter Lösungsstrategien

Mit dem Abschluss der Analyse in [Abschnitt 3.2](#) sind alle nötigen Vorbereitungen getroffen, um im Folgenden mit dem Entwurf beginnen zu können. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln wird zunächst das Interaktionskonzept und dann das Markerdesign bearbeitet. [Abschnitt 3.1](#) und [Abschnitt 3.2](#) liefern die notwendigen Rahmenbedingungen des Entwurfs und sollen in diesem Kapitel miteinander verknüpft werden. Das Ziel dieses Kapitel ist die Vorbereitung einer reibungslosen Implementierung in [Kapitel 5](#), durch den Entwurf allgemeiner Konzepte, die auch in weiterführenden Aufgaben verwendet werden sollen.

4.1 Erstellung eines Interaktionskonzeptes

Eine gute Benutzungsoberfläche sollte für den Anwendenden nach [Unterabschnitt 2.2.1](#) Schnittstellen anbieten, die menschlichen Interaktionsformen nachempfunden sind. Die Prozessindustrie sucht nach User Interfaces, welche die Arbeitenden in ihren alltäglichen Aufgaben unterstützen. In [Unterabschnitt 3.2.1](#) wurden einige menschliche Kommunikationskanäle diskutiert. Anforderung [FAI11](#) bis [FAI14](#) aus [Abschnitt A.1](#) fordern konkrete Steuerbefehle für gängige Prozessgeräte und können durch diese erfüllt werden. Für alle Interaktionen lassen sich im jeweiligen Medium eindeutige Befehle ableiten. Dies trifft auch auf die Anforderungen [FAI2](#) bis [FAI3](#) zu, die allgemeine Interaktionsbefehle zwischen Mensch & Maschine beschreiben. Aus diesen Anforderungen lässt sich die Auswahl der Interaktionsformen noch nicht eingrenzen. [FAI5](#) fordert ein positives AR-Erlebnis. Dieses kann durch unvollständige Interaktionsmöglichkeiten gestört werden. Somit sollte ein neues Interaktionskonzept die Schnittstellen Blick, Berührung, Gesten und Text berücksichtigen. Sprache hingegen entfällt, wie erläutert, vollständig. Das entstehende User Interface wird, wie in [Unterabschnitt 2.2.1](#) beschrieben, in der Literatur als Hybrid-UI bezeichnet.

Als AR-System soll nach [Unterabschnitt 3.1.2](#) ein Tablet verwendet werden. Dies schneidet die Schnittstellen weiter ein. Das Tablet ist in einer natürlichen

4 Ausarbeitung konkreter Lösungsstrategien

Benutzung nativ nicht fähig die Augen des Benutzenden zu erfassen. Dies könnte durch ein externes Gadget ermöglicht werden. [Abbildung 4.1](#) visualisiert schematisch den Gebrauch eines Tablets. Wie durch den blauen Pfeil dargestellt, schaut der Benutzende lediglich auf den Bildschirm des Tablets. Dieser zeigt die Umgebung an, welche durch die Kamera in Richtung des roten Pfeils aufgenommen wird. Die Steuerung über die Fokussierung des Blickes ist möglich, aber nicht nötig, da bereits durch die Touchsteuerung eine allgemein akzeptierte Interaktionsmethode gegeben ist. Des Weiteren würde diese Steuerung nur in Kombination mit dem Tablet funktionieren. Dies ist umständlich und nicht praktikabel, sodass an dieser Stelle der Kommunikationskanal Blick der neuen Benutzungsoberfläche verworfen wird.

Ähnliches gilt auf den ersten Blick auch für Gesten. Die Kamera des Tablets wird primär für die Erkennung von AR-Markern eingesetzt. Ein Tracking der Hand zur Gestenerkennung ist grundsätzlich möglich. Betrachtet man [Abbildung 4.1](#) und stellt sich vor, dass man das Tablet mit der einen Hand bediene, während die andere Hand zwischen Tablet und Ziel Gesten vollführe. Zum Einen könnten dabei Marker verdeckt werden, zum Anderen wird durch die ungewohnte Körperhaltung Anforderung [FAI511](#) gestört. Eine Interaktion durch Gesten ist dennoch möglich. Externe Gadgets, die alternative Formen des Gestentrackings verwenden, können über Bluetooth mit dem Tablet verbunden werden. Möglich sind zum Beispiel der in [Unterabschnitt 3.2.1](#) genannte Handschuh mit zusätzlicher Sensorik der Professur für Prozessleittechnik und das von Myo entwickelte Armband.

Die Verwendung von Text soll in diesem Interaktionskonzept vor allem zur Darstellung von Informationen, wie Prozesswerten oder Systemwarnungen, dienen. Zusätzlich soll die gezielte Eingabe bei kritischen Vorgängen ermöglicht werden, beispielsweise das Ändern einer URL. Dennoch bleibt die textuelle Eingabe via Touchscreen mühsam und wird deshalb auf das Nötigste eingeschränkt. Neben Text sollen auch visuelle und haptische Elemente für die Ausgabe auf dem Tablet verwendet werden. Farbimpulse lenken den Fokus auf bestimmte Objekte innerhalb der Szene. Rot steht für Gefahr, Gelb für Warnungen und Grün für Erfolg oder positive Rückmeldungen. AR erlaubt die direkte Verknüpfung von Information und Objekt. Statusmeldungen können über Symbole kommuniziert werden, die auf das jeweilige Objekt projiziert werden. Zusätzlich kann durch die Vibration des Displays ein weiterer Kommunikationskanal verwendet werden.

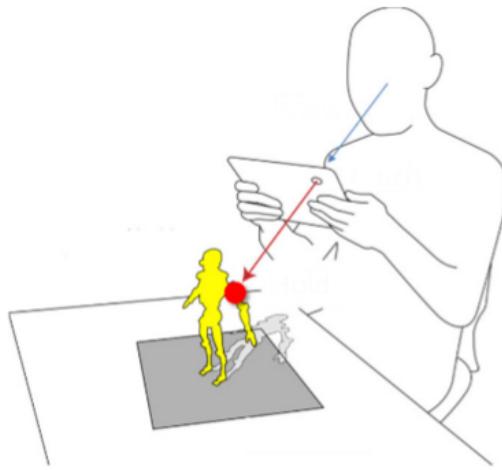


Abbildung 4.1: Natürliche Körperhaltung beim alltäglichen Gebrauch eines Tablets
(Angleht an *Figure 1* auf S.1 aus [Tan+15])

Text, visuelle und haptische Elemente sollen zusammen Anforderung FAI4 und damit indirekt auch FAI5 erfüllen.

Zusammenfassend verwendet das Interaktionskonzept als Eingabe primär Berührungen und Gesten sowie sekundär Text. Die Ausgabe erfolgt in Kombination von haptischen, textuellen und visuellen Elementen.

Eingabe als Interaktion

Dieses allgemeine Konzept gilt es nun mit Inhalt zu füllen. Konkret werden Sets von Eingabeaktionen der unterschiedlichen Interaktionsformen benötigt. Der Begriff *Set* wird in [Piu+13] für eine Sammlung von Gesten geprägt und soll an dieser Stelle auch für die Menge an Berührungen und Texteingaben verwendet werden. Die in Anforderung FAI11 bis FAI14 geforderten Steuerungsbefehle der MokA und die in Anforderung FAI3 geforderte Interaktion zwischen Mensch und Tablet sollen Bestandteil der jeweiligen Sets sein. Sollten zukünftig weitere Eingabeinteraktionen nötig sein, sind sie an dieser Stelle hinzuzufügen. In Abbildung 4.2 ist die Aktivität *Eingabe verarbeiten* visualisiert. Drei der vier Eingabeparameter sind bereits ausführlich erläutert worden. Die Input wird durch die unterschiedlichen Module registriert. Zusätzlich soll die Aus-

4 Ausarbeitung konkreter Lösungsstrategien

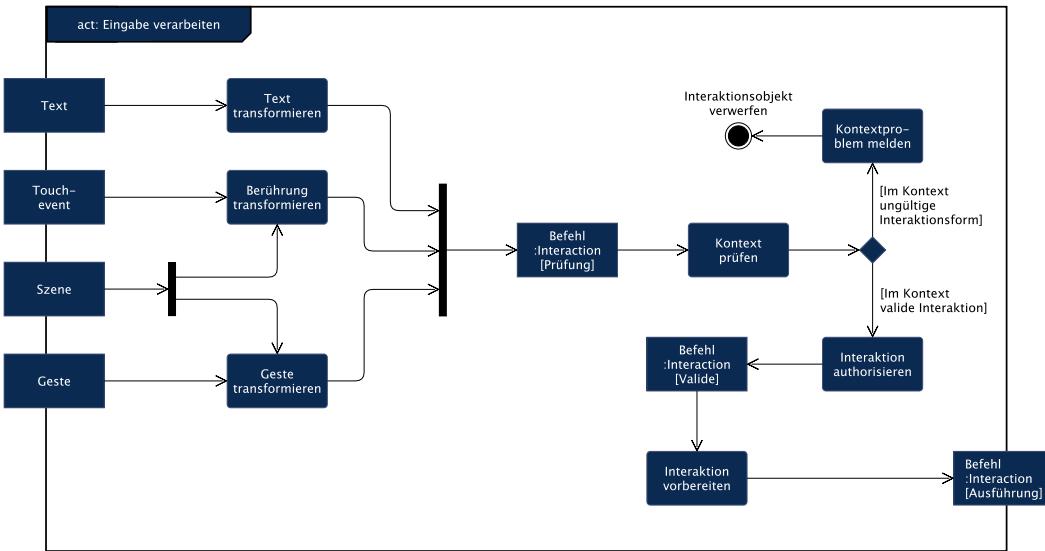


Abbildung 4.2: Aktivitätsdiagramm zu *Eingabe verarbeiten* nach UML 2.5

wertung der aktuellen App-Szene und deren Zustand die Eingabe beeinflussen. Konkret bedeutet dies, dass vermeintlich korrekte Eingaben im aktuellen Szenenkontextes keine Wirkung erzielen sollen, da die aktuell im Fokus liegenden Prozessgeräte diese Eingabe nicht unterstützen. Für den Text ist dies nicht notwendig, da diesem immer eine eindeutige Bedeutung zugeordnet sein soll.

Der Input erfolgt in unterschiedlichen Datenstrukturen und soll zunächst in das interne Format **Interaction** umgewandelt werden. Dies enthält alle notwendigen Informationen für die folgende Untersuchung. Dessen Zustand ist zunächst mit Prüfung festgelegt. Es gilt den Kontext zu prüfen, d.h.: Ist das Prozessgerät fähig die Interaktion auszuführen. Ein Rührer kann per se keine Flüssigkeiten erhitzen, sodass ein Befehl zur Aktivierung der Heizung zu diesem Zeitpunkt abgebrochen werden muss. Handelt sich um eine gültige Interaktion wird der Zustand der Interaktion auf *valide* gesetzt und der Befehl kann vorbereitet werden. Die dafür notwendigen Daten, wie die individuelle OPC UA NodeID werden an dieser Stelle ermittelt. Der erfolgreiche Durchlauf dieser Aktion erzeugt einen zur Ausführung bereiten Befehl, der dann in anderen Programmabschnitten an den OPC UA Aggregating Server übermittelt wird.

Der Ablauf einer Eingabe ist erläutert worden, doch fehlt bisher ein konkreter Entwurf der unterschiedlichen Befehle der primären und sekundären Eingabekategorien. Die in [Abschnitt A.1](#) genannten funktionalen Anforderungen definieren eine klare Menge an Eingabemöglichkeiten, welche das Hybrid-UI verarbeiten können muss. [Tabelle 4.1](#) ist das Ergebnis des konkreten Entwurfs für die primären Interaktionsmedien. Die Tabelle listet den abgeleiteten Befehlssatz und deren Umsetzung für die Interaktion via Touch-Eingabe auf. Zusätzlich sind in Anhang [E](#) Skizzen zum besseren Verständnis der einzelnen Eingabeinteraktionen hinterlegt. Das Berührungsgerüst aus [Tabelle 4.1](#) basiert bei den allgemeinen Eingaben auf den Ergebnissen aus [\[Wob+09\]](#). Für prozesstechnische Steuerungen wurden, aufgrund fehlender wissenschaftlicher Arbeiten, eigene Berührungsgerüste entworfen. Die einzelnen Interaktionen sind bewusst einfach gehalten und orientieren sich an den gängigen Befehlen aus der alltäglichen Benutzung von Tablets oder Smartphones. Insbesondere Anforderung [FAI52](#) soll dadurch erfüllt werden. Zwar ist die Steuerung mittels Handgesten laut Konzept und [Abbildung 4.2](#) ebenfalls vorgesehen; dennoch wurde auf einen konkreten Entwurf an dieser Stelle verzichtet. Grund dafür ist die Fokusierung während der Implementierung und Validierung auf die Interaktion via Berührungsgerüste. Die Umsetzung einer weiteren Interaktionsform ist aus Zeitgründen verworfen worden.

Die sekundäre Eingabekategorie Text soll nur für spezielle Eingaben verwendet werden. Die Texteingabe erfolgt über die durch Android bereitgestellte Touch-Tastatur direkt auf dem Display. Der Textbefehlssatz ist stark beschränkt. Lediglich das manuelle Ändern der Datenquellen OPC UA und LinkedData soll möglich sein. Darüber hinaus sind vorerst¹ keine weiteren Texteingaben vorgesehen.

Ausgabe als Interaktion

Die Eingabe in eine Benutzungsoberfläche erfolgt durch den Anwendenden, deren Reaktion darauf kann unterschiedlich erfolgen. Für die Akzeptanz und die Userexperience ist es wichtig, dass eine Ausgabe auf Seiten des User Interfaces

¹: Die Steuerung der einzelnen Prozessgeräte innerhalb der MokA über den Aggregating Server und der RestAPI besteht aktuell im wesentlichen aus den binären Befehlen *an* und *aus*. Es sind durchaus komplexere Varianten denkbar.

Tabelle 4.1: Eingabebefehlssatz: Berührung

Befehl	Kategorie	BG1	BG2	BG3
Heizung an	PLT	Button	Kelch von links nach rechts	
Heizung aus	PLT	Button	Kelch von rechts nach links	
Pumpe an	PLT	Button	Vertikale Linie nach oben	
Pumpe aus	PLT	Button	Vertikale Linie nach unten	
Rührer an	PLT	Button	Diagonale Linie von links unten nach rechts oben	
Rührer aus	PLT	Button	Diagonale Linie von rechts unten nach links oben	
Ventil auf	PLT	Button	Horizontale Linie nach rechts	
Ventil zu	PLT	Button	Horizontale Linie nach links	
Szene wechseln	Allgemein	Wischen mit zwei Fingern		
Auswahl einz. Elemente	Allgemein	Single Tap		
Abwahl einz. Elemente	Allgemein	Single Tap	Drag & Drop	Über Rand hinausziehen
Auswahl mehrerer Elemente	Allgemein	Hold and tap		
Abwahl mehrerer Elemente	Allgemein	X zeichnen		
App beenden	Allgemein	Standard Android	Drei Finger sternförmig auseinander	

Abkürzungen:

BG – Berührungsgeste

geschieht, da die menschliche Kommunikation auf Aktion und Reaktion basiert. Findet keine Reaktion statt, ist die Kommunikation gestört. Nach [Unterabschnitt 3.2.1](#) soll die Ausgabe durch haptische, textuelle und visuelle Elemente erfolgen. Anforderung [FAI42](#) ist für deren Entwurf besonders zu berücksichtigen. Ziel soll es sein, die drei Elemente immer wieder miteinander zu verknüpfen, um eine Ausgabe auf mehreren Kommunikationsebenen zu bilden. [Tabelle 4.2](#) listet mögliche Ausgaben und deren visuelle Umsetzung. Deren Kolorierung ist an *Tabelle 6* aus [\[Komnu\]](#) angelehnt. Die Farbe Rot steht allgemein für Abbruch oder Gefahr. Erfolgt auf die Eingabe eine Reaktion mittels roter Farbe wie in [Abbildung 4.4](#) angedeutet, ist die Eingabe abgebrochen und somit nicht ausgeführt worden. Gelb steht im Allgemeinen für Warnung. In diesem Konzept visualisiert die Farbe unregelmäßige Abläufe z.B. erhöhte Dauer der Befehlsübertragung. Eine mögliche Umsetzung ist in [Abbildung 4.5](#) dargestellt. Grüne Elemente stehen für positive Ereignisse, wie Fortschritt oder Erfolg. Alle positiven Rückmeldungen sollen, wie in [Abbildung 4.4](#) zu sehen, deshalb mit der Farbe Grün verbunden werden. Der Gebrauch dieser Farben ist gewählt worden, da die Benutzenden mehrheitlich die gleichen Assoziationen mit ihnen verbinden [\[Komnu\]](#). Um Anforderung [NFAI3](#) zu erfüllen, soll das Corporate Design² der TU Dresden verwendet werden. Darüber hinaus soll mit Symbolen in der visuellen Ausgabe gearbeitet werden. Auch diese sollen so gewählt werden, dass die Allgemeinheit ihre Bedeutung sofort erkennt. Ein Ausrufezeichen als Symbol beispielsweise steht für *Achtung*. Die in [Unterabschnitt 3.1.3](#) beschriebenen Benutzenden, können diese bestimmte Bedeutung dem Symbol zuordnen. Weitere Beispiele für mögliche Symbole sind in [Abbildung 4.5](#) und [Abbildung 4.6](#) zu sehen. Die beiden Abbildungen sind zeitlich versetzt zu verstehen. Die Applikation wartet zunächst auf die Rückmeldung und zeigt dies mit der gelben Umrandung und den „drehenden“ Punkten innerhalb des dunkelgrünen Kreises an. In [Abbildung 4.6](#) erfolgte bereits intern die positive Rückmeldung an das System, sodass sich die Punkte nun in einen Haken verwandelt haben und die Farbe der Umrandung zu Grün gewechselt ist. Das Beispiel der „drehenden“ Punkte soll andeuten, dass auch die Animation von Symbolen möglich ist.

²[Corporate Design](#) der TU Dresden

4 Ausarbeitung konkreter Lösungsstrategien

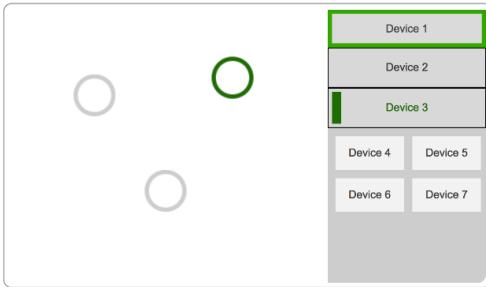


Abbildung 4.3: Mockup - visuelle Rückmeldung nach erfolgreicher Interaktion

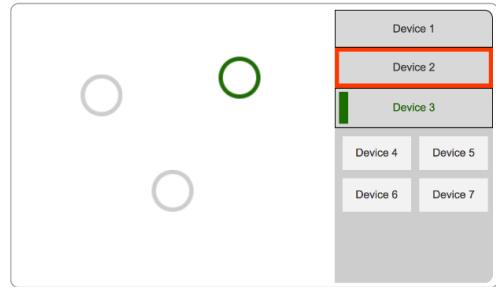


Abbildung 4.4: Mockup - visuelle Rückmeldung nach nicht erkannter Interaktion

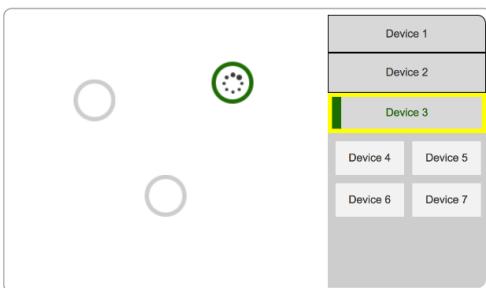


Abbildung 4.5: Mockup - visuelle Rückmeldung während Verzögerung

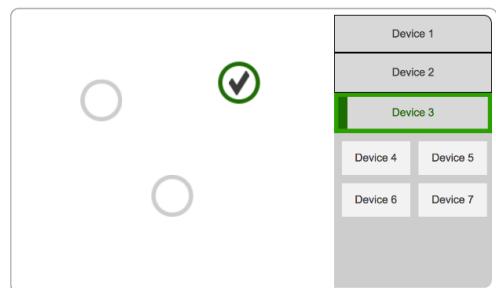


Abbildung 4.6: Mockup - positive vis. Rückmeldung nach Verzögerung

In Tabelle 4.3 sind die haptischen Umsetzungen dargestellt. Das Nexus 9 erlaubt diese durch Vibration, lässt aber grundlegend nicht viele Varianten zu, da auch hier auf simple Umsetzung geachtet werden soll. Als Vorbild dienen die Betriebssysteme iOS und Android, die simple Vibrationen als Rückmeldung verwenden. Vor allem sollen durch Vibrationen Reize gesendet bzw. ausgelöst werden und keine komplexen³ Informationen übertragen werden. Dieser Entwurf beschränkt sich deshalb auf die Verwendung kurzer, mittlerer und pulsförmiger Vibrationen. Auch auf die Verwendung von *force touch* bzw. *3D-touch* soll aufgrund der geringen Anzahl an zu übermittelnden Informationen aktuell verzichtet werden. Eine Auflistung der textuellen Ausgaben ist nicht nötig, da diese sparsam eingesetzt werden sollen. Aus dem vorigen Projekt werden die Darstellung von Prozessdaten in Form von Zahlen übernommen. Die Größe des

³Die Ausgabe über Vibrationen nach den Regeln des Morsealphabets beispielsweise wären technisch umsetzbar, stehen aber in starkem Gegensatz zu Anforderung FAI513

Tabelle 4.2: Visuelle Ausgaben des Konzeptes

Ausgabe	VU	Symbol
Eingabeabbruch	Rotes Einfärben des Randes	Stoppschild
Beschäftigt	Gelbes Einfärben des Randes und leichtes pulsieren	Drei Punkte
Warnung	Gelbes Einfärben des Randes	Ausrufezeichen
Erfolg	Grünes Einfärben des Randes	Haken
Auswahl innerhalb Fokus	blauer Punkt nach [Kad17]	
Auswahl mehr. Elemente	Oranges Einfärben des Randes aller ausgewählten Elemente	

Abkürzungen:

VU – Visuelle Umsetzung

Tabelle 4.3: Haptische Ausgaben des Konzeptes

Ausgabe	Haptische Umsetzung
Eingabeabbruch	Vibrationsimpulse
Auswahl mehr. Elemente	Einmaliges Vibrieren, wenn Mehrfacheingabe erkannt wurde

Tablet-Bildschirms erlaubt aus Übersichtsgründen nur den dezenten Gebrauch einer grafischen Oberfläche, sodass die Visualisierung von Prozesswerten durch Diagramme allein durch zusätzliche Szenen möglich ist. Auf die Verwendung von Textbuttons⁴ zur Navigation zwischen einzelnen Szenen soll verzichtet werden, da sie durch die in [Abschnitt 4.1](#) beschriebenen Eingaben obsolet sind.

4.2 Erweiterung des bestehenden Markerdesigns

Die Analyse in [Unterabschnitt 3.2.2](#) lässt auf den ersten Blick die Aussage zu, dass das aktuell verwendete Markerdesign für den industriellen Gebrauch unpassend ist. Das Tracking erfolgt nur aus geringer Distanz und ist stark vom Umgebungslicht abhängig. Dennoch sollen Marker auf Basis von Papier und grafischen Mustern mit unterschiedlichen Kontrasten weiter verwendet werden. Dafür existieren mehrere Gründe: Zum Einen besitzt das Nexus 9 keine Infrarotkamera, sodass eine Verwendung von Infrarotmarkern technisch nur durch Hardwareerweiterung möglich ist. Des Weiteren ist die in [Unterabschnitt 3.1.2](#) beschriebene MokA eine räumlich begrenzte Prozessanlage, sodass ein Tracking auf mittlerer und hoher Distanz hier nicht relevant ist. Ebenfalls sind die Prozessgeräte selbst nicht sehr groß, sodass sie auf Entfernung kaum zu erkennen sind. Ziel ist es das Tracking im Nahbereich zu verbessern, was durch die Anpassung des Markerdesigns erfolgen soll. Ein weiterer, aber nicht unerheblicher Aspekt, ist der entstehende zeitliche Aufwand für die Umsetzung eines Entwurfs neuer Marker anderer Art. Laut Aufgabenstellung liegt der Fokus dieser Arbeit primär auf der Entwicklung eines Interaktionskonzeptes. Die Integration von beispielsweise Infrarot in das bestehende System aus MokA und Tablet ist sehr aufwendig, da zusätzliche Hardware für Marker und Kamera verwendet und deren softwaretechnische Anbindung realisiert werden muss. Die Mobilität des Benutzenden ist durch die Verwendung und Bedienung einer externen Infrarotkamera zusätzlich eingeschränkt. Somit wird ein Markerkonzept basierend auf Infrarot an dieser Stelle verworfen und nicht umgesetzt.

Der Entwurf des neuen Markerdesigns erfolgt heuristisch. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass jedes AR-Framework seine eigenen Marker bevorzugt. So wird ihnen die Verwendung modifizierte Bildgebungsverfahren ermöglicht, die genau auf das Tracking der jeweiligen Markerdesigns angepasst sind. Wie in [Unter-](#)

⁴Ein Button mit Textelement, das dessen Funktionalität beschreibt

[abschnitt 2.2.2](#) beschrieben, veröffentlicht auch KudanAR mit [Kud16] eine Anleitung zum eigenständigen Erstellen von Markern. Allgemein lassen sich in der Literatur keine Bewertungskriterien über die Qualität von AR-Markern finden. Oft sind es Erfahrungen und Beispiele von Anwendenden, die zuverlässig funktioniert haben, welche dann von anderen weiter verwendet werden.

Dies ermöglicht für den Entwurf erhebliche Freiheiten, die nur durch die Anforderung aus [Abschnitt A.2](#) und [Abschnitt A.4](#) beschränkt werden. Ein Beispiel des neuen Markerdesigns wird in [Abbildung 4.7](#) gezeigt und dessen Aufbau nun erläutert werden⁵. Der grundlegende Aufbau ist immer quadratisch, sodass die maximale Fläche ausgenutzt wird. Der äußerste schwarze Rahmen symbolisiert die Grenze des Markes. Andere geometrische Formen wären denkbar, haben aber immer einen Einschnitt der maximal verwendbaren Fläche zu Folge. Die dazugehörigen vier Quadrate sind Platzhalter für mögliche Anlagensymbole, die Teil des Markers sein können, aber nicht den Kriterien von [Kud16] genügen. Das Konzept basiert auf mehreren Grundgeometrien:

- Gleichseitiges Dreieck
- Quadrat
- Kreis
- Fünfeck
- Sechseck
- Achteck

Diese sollen in mehren Ebenen beliebig eingesetzt werden, um [FAM13](#) und [FAM2](#) zu erfüllen. Ebene 1 ist in [Abbildung 4.7](#) der rot umrandete Kreis. An dessen Stelle können auch beliebige andere der eben genannten Formen gewählt werden. Auf dessen Umriss sind weitere Geometriiformen angeordnet, die in festen Abständen zueinander stehen. Jede Position kann beliebig belegt werden. Es ist auch möglich, dass eine oder mehrere Positionen frei besetzt sind, wie in [Abbildung 4.7](#) links oben zu sehen. Die einzelnen Elemente stehen somit in festen und markanten Beziehungen zueinander, wie es [FAM12](#) fordert. Betrachtet man die türkis umrandeten Objekte, fällt auf, dass diese identisch sind, aber

⁵Die farblichen Markierungen dienen für spätere Erläuterungen und gehören nicht zum eigentlichen Konzept

verdreht angeordnet wurden. Jedes Element auf jeder Ebene kann also auch eine unterschiedliche Rotation besitzen. Ebene 2 wird durch das blau umrandete Dreieck verkörpert. Auch auf dessen Umriss befinden sich jeweils Formen, welche nach dem gleichen Prinzip aus Ebene 1 ausgewählt und angeordnet wurden. Rechts unten kommt es zu einer Überschneidung zwischen erster und zweiter Ebene. Das mag zwar an dieser Stelle ästhetisch nicht ansprechend wirken, stellt aber kein Problem dar, da drei Kontraste aufeinander treffen und so zusätzliche Features geschaffen werden. Ebene 3 besteht aus einem einzelnen Symbol. In diesem Fall ist es ein Sechseck. Im Unterschied zu allen anderen, haben die Elemente aus Ebene 3 nur einen Umriss und keine Füllung. Die unterschiedlichen Farben der einzelnen Elemente sind so gewählt, dass immer wieder alle drei Kontrastebenen aufeinander treffen. Diese sind schwarz, weiß und ein mittleres Grau. Generell lassen sich Kontraste auf Entfernung nicht mehr gut unterscheiden. Daher wurden drei starke Kontraste gewählt.

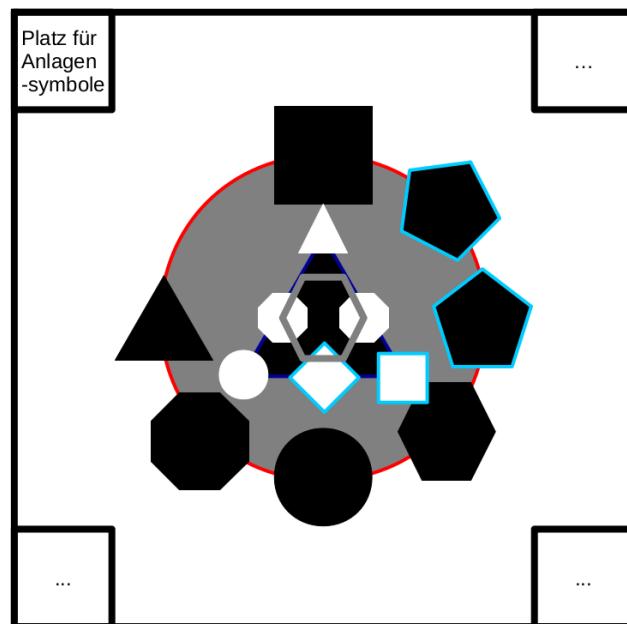


Abbildung 4.7: AR-Markerprototyp auf Basis des neuen Designkonzeptes

Der in [Abbildung 4.7](#) gezeigte Markerprototyp wurde händisch erzeugt. Für die MokA werden zunächst vier unterschiedliche Marker benötigt, sodass eine

manuelle Erzeugung mit vertretbaren Zeitaufwand möglich ist. Für größere Mengen an Markern ist jedoch eine automatisierte Erstellung sinnvoll. In Anhang C werden detailliert die einzelnen Arbeitsschritte aufgelistet, die zur Erstellung eines einzelnen Markers notwendig sind. Die Menge an einzigartigen Markern ist durch diesen Entwurf endlich, dennoch lässt sich die maximale Anzahl durch zusätzliche geometrische Symbole erweitern. Ein Computerprogramm ermöglicht dann die autonome Erstellung tausender unterschiedlicher AR-Marker in kürzester Zeit.

Die Marker sind auf nicht reflektierendem Material, wie Papier, zu erstellen und an der eigentlichen Anlage anzubringen. Es ist nicht auszuschließen, dass Teile der Anlage verdeckt werden und NFAM22 gegebenenfalls nur bedingt erfüllt wird. Nutzt man Papier, kann aus Gründen der Stabilität Pappe als Trägermaterial des Markers verwendet werden. Für die MokA sind Papier und Pappe dann ausreichend, wenn die Marker an Positionen angebracht werden, die nicht durch potentiell auslaufendes Wasser erreicht werden können. Auf NFAM1 geht das Konzept somit nur bedingt ein. Alternativ könnten die Marker auf Plastikquadrate gedruckt werden, die wasserbeständig sind. Reflexionen durch das Plastik müssen verhindert werden.

5 Prototypische Umsetzung

Konzepte sind meist theoretische Konstrukte, deren Nutzen es jeweils zu überprüfen gilt. In den Ingenieurwissenschaften bietet sich dafür oft der Bau oder die Implementierung von Prototypen an. Da eine ausführliche Beschreibung und Erklärung deren Entstehung an dieser Stelle zu weit führt, soll nun der Blick gezielt auf interessante Elemente der jeweiligen Prototypen geworfen werden, die im Laufe dieses Projektes entstanden sind.

5.1 Implementierung der Benutzeroberfläche

Die Erweiterung der Mensch-Maschine-Schnittstelle wurde primär in den Bereichen Interaktion und User Interface durchgeführt. In [Tabelle 4.1](#) sind bereits konkrete Gesten für die Steuerung der Applikation via Touch-Eingabe festgelegt worden. In Unity werden Berührungen auf dem Touchdisplay als 2D-Punkte registriert. Für jedes einzelne Frame kann die aktuelle Position des oder der Finger ausgewertet und verarbeitet werden. Im Prototypen wurden alle Punkte zwischen dem ersten Kontakt und dem Abheben des Fingers in einer Liste gespeichert. Anschließend erfolgt deren Auswertung in einem separaten Programmschritt, wie in [Abbildung A.2](#) visualisiert wird. Somit lassen sich die einzelnen Interaktionen voneinander unterscheiden und die vorgeschlagenen Touch-Gesten aus [Abschnitt 4.1](#) in Unity umsetzen. Exemplarisch sei hier auf die beiden Schemata in [Abbildung 5.1](#) und [Abbildung 5.2](#) verwiesen, welche die jeweiligen Steuerungsgesten für die Geräteklassen *Pumpe* und *Ventil* darstellen sollen. Der grüne Pfeil deutet die Richtung der Interaktion für das Einschalten des Gerätes an, während der orangene Pfeil das Gegenteil suggeriert. Eine vollständige Visualisierung und zusätzliche Erläuterungen der einzelnen Gesten erfolgt in Anhang [E](#).

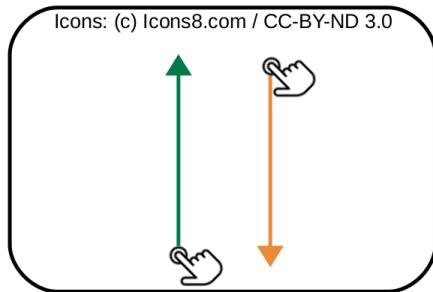


Abbildung 5.1: Touch-Geste:
Steuerung Pumpe

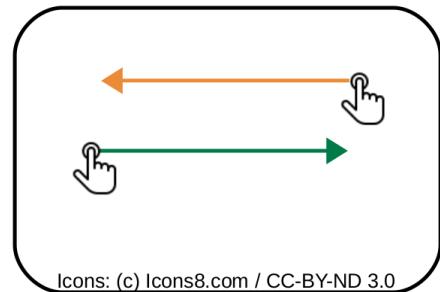


Abbildung 5.2: Touch-Geste:
Steuerung Ventil

Neue Impulse für das UI

Die Änderungen an der Ausgabe durch die Benutzungsschnittstelle gegenüber [Ger+03] sollen anhand Abbildung 5.3 aufgezeigt werden und sind dafür rot umrandet worden. Neu ist die obere Zeile, damit nun kurze textuelle Informationen dargestellt werden können. In diesem Fall, dass auf den OPC UA Knoten mit der ID 1807 im Namensraum 1 der Wert *true* geschrieben wurde. Auf der rechten Seite befindet sich der Informationsbereich. Der grün verblassende Hintergrund der Box für **V306** ist die visuelle Bestätigung der erfolgreichen Befehlsübermittlung an den OPC UA Server. Der aktuelle Zustand des Prozessgerätes ist neben dem Text nun auch am Symbol zu erkennen. Abschließend fallen die grünen Punkte in der Mitte des Bildes auf. Dabei handelt es sich um die Visualisierung der Touch-Punkte der Geste zur Steuerung der Ventile. Während der Interaktion sind diese noch schwarz, ändern dann aber, je nach Auswertung ihre Farbe in grün beziehungsweise rot. In diesem Fall zu grün, da die Geste erkannt wurde und es Prozessgeräte in der Auswahl¹ gibt, welche diesen Befehl umsetzen können. Aktuell werden nur Geräte gesteuert, die in der Auswahl fokussiert wurden. Der in [Ger+03] beschriebene Autofokus wurde dazu deaktiviert, da keine Abwahl der im Fokus liegenden Geräte möglich war. Eine Anpassung des Algorithmus wurde aus zeitlichen Gründen verworfen. Zu Fokussierung einzelner Elemente verbleiben die Auswahl über die weißen Kreise oder über den Plant-Tag im unteren, rechten Bereich des UI. Alle verwendeten Farben entsprechen, soweit möglich, [Kad17].

¹: Jene Prozessgeräte, die rechts oben in dem UI detailliert dargestellt werden. In diesem Fall nur **V306**.

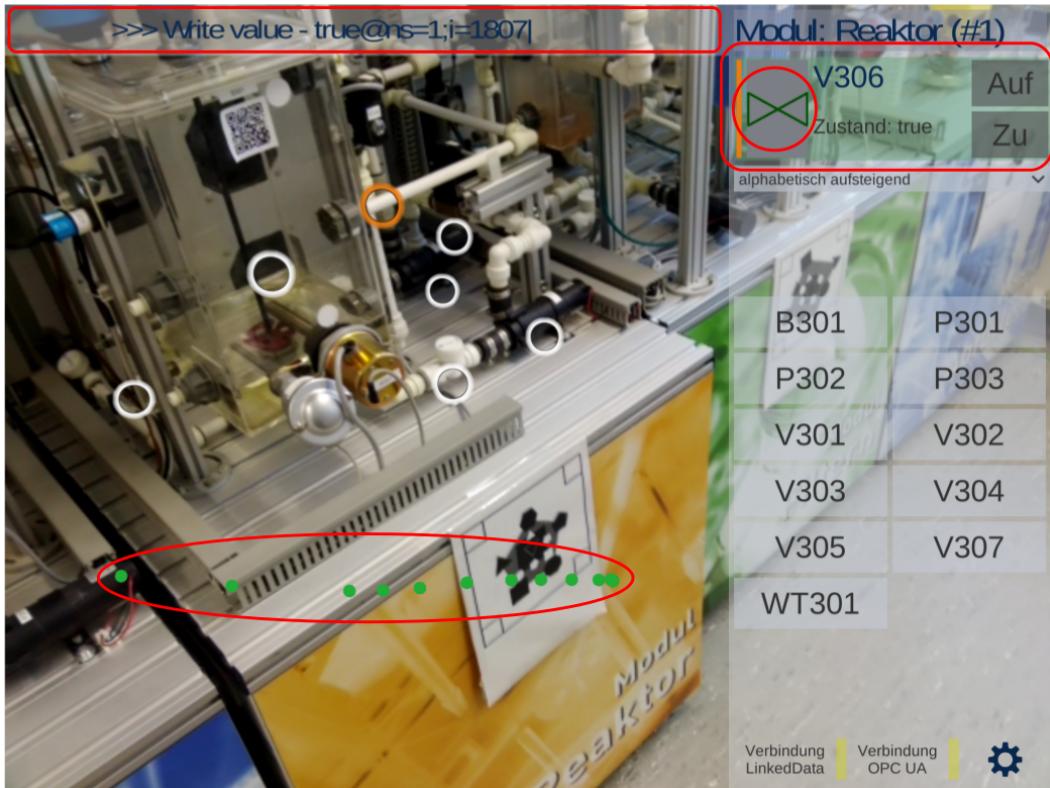


Abbildung 5.3: Screenshot der Applikation mit hervorgehobenen Elementen des neuen UI

5.2 Softwareseitige Umsetzung des neuen Touch-Gestensets

Für die beispielhafte Umsetzung der Eingabe, wurde der Pfad *Touch* in Kombination mit *App-Szene* aus Abbildung 4.2 gewählt und implementiert. Damit zukünftig das gesamte Interaktionskonzept umgesetzt werden kann, wurde die Modellierung der Anlage innerhalb der Datenbasis angepasst. Deren vorheriger Inhalt basiert auf Instanzen der Klasse *DatabaseObject*, welche allgemeine Informationen der einzelnen Prozessgeräte speichert, aber keine gerätespezifischen Eigenschaften abbildet. Für das reine Darstellen von Daten ist diese Variante zweckmäßig; für eine gezielte Interaktion und deren Validierung ist sie hingegen ungenügend. Eine komplexe Auswertelogik ist nötig, um die einzelnen Befehle einem Gerät zuordnen zu können. Deshalb basiert die angepasste Datenbasis

nun auf der Klasse *Device* und deren Subklassen, die diese Problematik löst. Das Klassendiagramm in [Abbildung 5.4](#) visualisiert ausgewählte Abschnitte der neuen Vererbungsstrukturen. Ein erweitertes Klassendiagramm mit allen Subklassen ist in [Abbildung A.3](#) hinterlegt. Der objektorientierte Modellierungsansatz soll vor allem die Erweiterbarkeit der Interaktionen und allgemein der ganzen Applikation vereinfachen. Ziel ist es, dass individuelle Interaktionen den einzelnen Prozessgeräteklassen zugeteilt werden können. Diese können erkennen, ob der aktuelle Interaktionsversuch ihnen selbst galt. Jedes *Device* ist zusätzlich befähigt, die notwendigen Daten für die Kommunikation mit dem OPC UA Server bereitzustellen, aber nicht diese Kommunikation selbstständig zu initiieren. Dazu bedarf es einer übergeordneten Logik, die in der Klasse *InteractionController* implementiert wurde. Die Aufgaben- und Zuständigkeitsbereiche sind klar aufgeteilt und abgetrennt. Die Technik des Überladen oder Überschreiben von Methoden aus der objektorientierten Programmierung stellt dabei ein mächtiges Werkzeug dar. Somit können allgemeine Methoden einzelner *Device*-Klassen gezielt individualisiert werden.

Die Möglichkeiten der aktuellen Modellierung sind noch recht begrenzt, aber einfach durch neue Klassen zu erweitern. Beispielsweise gibt es unterschiedliche Arten von Pumpen. Sollte es zukünftig notwendig sein, diese abzubilden, kann mithilfe der Vererbung eine neue Subklasse erzeugt werden, die dann die speziellen Eigenschaften der neuen Pumpe modelliert.

5 Prototypische Umsetzung

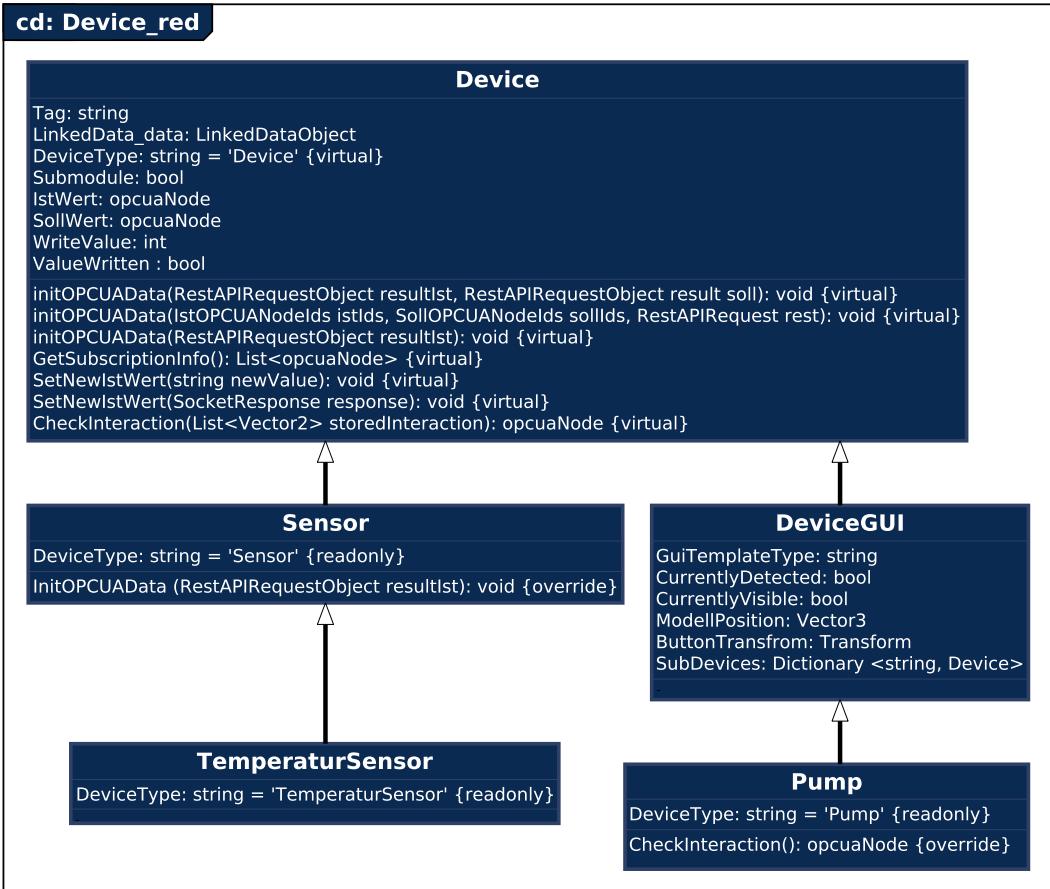


Abbildung 5.4: Vererbungsstruktur zwischen *Device* und ausgewählten Subklassen in einem Klassendiagramm nach UML 2.5. Aus Übersichtsgründen wurde auf die Darstellung der privaten Variablen und Methoden sowie einen Großteil der neuen Subklassen verzichtet.

5.3 Vorstellung der neuen Modulmarker

Die neuen AR-Marker der MokA wurden anhand der Anleitung aus Anhang C und den Designkriterien aus Abschnitt 4.2 manuell erzeugt. Dazu wurde das Zeichenprogramm aus dem Softwarepaket *LibreOffice* verwendet. Das jeweilige Ergebnis für die einzelnen Module zeigen Abbildung 5.5 bis Abbildung 5.8. Die auf Papier ausgedruckten Marker wurden auf Pappe zur besseren Stabilität aufgeklebt und dann an den einzelnen Modulen befestigt. Die Marker für *Reaktor* und *Mischen* sind nun rechts neben der SPS angebracht, wie in Abbildung 5.9 zu sehen ist. Auf eine Umpositionierung der Marker bei weiteren Modulen ist aus Zeitgründen verzichtet worden. Des Weiteren ist das Modul *Abfüllen* aktuell nicht per OPC UA zu steuern und das Modul *Filtern* nicht mit den verbleibenden Modulen über Rohrleitungen verbunden, sodass die beiden Module aktuell nicht für eine Interaktion zur Verfügung stehen.

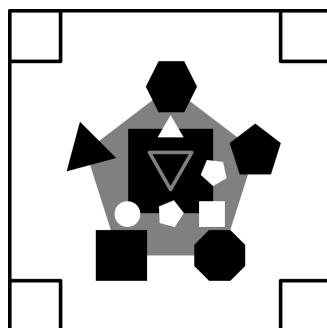


Abbildung 5.5: AR-Marker: *Reaktor*

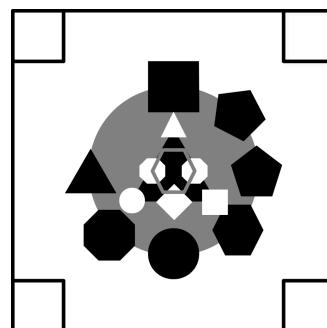


Abbildung 5.6: AR-Marker: *Mischen*

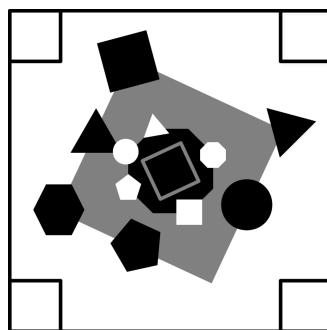


Abbildung 5.7: AR-Marker: *Filtern*

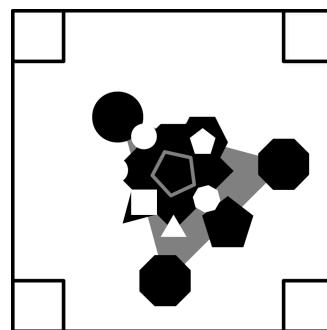


Abbildung 5.8: AR-Marker: *Abfüllen*

5 Prototypische Umsetzung



Abbildung 5.9: Screenshot des UI mit Blick auf die Position des neuen Markers.

Es wurde versucht während der Erstellung die Grenzen des Konzeptes auszutesten. Die Marker selbst unterscheiden sich daher stark voneinander. Beim Betrachten von [Abbildung 5.8](#) fallen die große Anzahl an sich überschneidenden Elementen auf, dies wirkt sich jedoch nicht negativ auf die Erkennbarkeit aus. Allgemein empfiehlt es sich hochwertiges Papier und einen Drucker zu verwenden, der gute Kontraste erzeugen kann. Das Ausdrucken auf Geräten mit minderer Druckqualität sorgt für schwächere Kontrastunterschiede. Dies führt beispielsweise zu einem deutlich von der digitalen Vorlage abweichenden Grauton.

6 Verifikation der Umsetzung

Es gilt nun die Ergebnisse der Konzeptentwicklung aus [Kapitel 4](#) und deren Umsetzung in [Kapitel 5](#) gründlich auszuwerten. Zusätzlich fließen in die Bewertung die jeweiligen Anforderungen aus [Abschnitt 3.1](#) ein. Die nachfolgende kritische Betrachtung der bisherigen schriftlichen Arbeit geht zunächst auf die neue Benutzungsoberfläche ein und validiert dann das Ergebnis des neuen AR-Markerdesigns.

6.1 Benutzungsoberfläche

Die in [Abschnitt A.1](#) für die Benutzungsoberfläche getroffenen funktionalen Anforderungen lassen sich grob in vier inhaltliche Abschnitte unterteilen. [FAI1](#) fordert eine binäre Steuerungsmöglichkeit für die Prozessgerätegruppen **Heizung**, **Pumpe**, **Rührer** und **Ventil**. In [Tabelle 4.1](#) aus dem Konzeptabschnitt finden sich für jede einzelne Gerätekasse Touch-Gesten. [Tabelle 6.1](#) listet konkret auf, in welchem Umfang diese im Prototypen umgesetzt wurden. In dieser und in allen folgenden Tabellen steht **X** für *vollständig umgesetzt*, **o** für *teilweise umgesetzt* und – für *nicht umgesetzt*.

Tabelle 6.1: Bewertung der Umsetzung von [FAI1](#) und Unteranforderungen

Anforderung	Beschreibung	Status
FAI11	S. Heizung	X
FAI12	S. Pumpe	X
FAI13	S. Rührer	X
FAI14	S. Ventil	X
Abkürzungen:		
S	– Steuerung	

Die Steuerung funktioniert so weit zuverlässig. Die Gesten werden erkannt, der OPC UA Server verarbeitet die Steuerungsbefehle und die Aktoren starten

beziehungsweise stoppen den Betrieb. An dieser Stelle hingegen kritisch zu bewerten, ist die rein binäre Befehlssemantik. Der Benutzende kann lediglich die Geräte ein- und ausschalten und operiert somit auf einer sehr niedrigen Befehlsebene. Etwas komplexere Befehle, wie das Erhitzen eines Tankinhalt auf eine bestimmte Temperatur oder das teilweise Öffnen eines Proportionalventils sind somit aktuell nicht möglich. Grund dafür ist die Adaption des Funktionsumfangs bereits bestehender Benutzungsoberflächen, wie dem WebService der einzelnen MokA-Module, welche diese komplexeren Befehle ebenfalls nicht direkt erlauben. Sogenante Services ermöglichen zwar die Regelung der Temperatur um einen bestimmten Wert, lassen sich aber aktuell nicht über die RestAPI steuern. Deshalb ist aus zeitlichen Gründen auf eine Erweiterung der RestAPI an dieser Stelle verzichtet worden.

FAI2 behandelt ganz alltägliche Eingaben zwischen Mensch und Tablet. Der Entwurf sieht für diesen Bereich Interaktionen aus der Studie nach [Wob+09] vor. In [Tabelle 6.2](#) ist dargestellt in welchem Umfang die Interaktionen umgesetzt wurden:

Tabelle 6.2: Bewertung der Umsetzung von **FAI2** und Unteranforderungen

Anforderung	Beschreibung	Status
FAI21	Szenenwechsel	X
FAI22	Elemente auswählen	X
FAI23	Beenden	X

Im Gegensatz zu den Steuerungsbefehlen der einzelnen Prozessgeräte, sind diese Interaktionen das Resultat einer Studie und basieren somit auf einer empirischen Arbeit. Die Umsetzung im Prototypen ist prinzipiell vorhanden. Da es sich zum Teil um komplexere Touch-Gesten, mit beispielsweise Multitouch, handelt, kommt es hier allerdings häufiger zu Interaktionsversuchen, die nicht durch das System erkannt werden und dann teilweise wiederholt werden müssen.

Grundsätzlich ist es denkbar, dass sich zukünftig die Datenquellen zur Laufzeit ändern können. **FAI3** fordert die Möglichkeit einer textuellen Eingabe im allgemeinen und konkret die Option, Datenquellen während der Laufzeit zu ändern. Diese Teilanforderung ist der Vollständigkeit halber aus [Ger+03] übernommen

worden und wurde bereits damals umgesetzt. [Tabelle 6.3](#) zeigt den aktuellen Stand der Konzeptumsetzung:

Tabelle 6.3: Bewertung der Umsetzung von [FAI3](#) und Unteranforderungen

Anforderung	Beschreibung	Status
FAI31	Zeicheneingabe	X
FAI32	Datenquellen ändern	X

Die Texteingabe erfolgt über die Android-eigene Bildschirmtastatur. Das Interaktionskonzept ist an dieser Stelle noch ausbaufähig. Problematisch ist die Bedingung der Tastatur mit einer einzelnen Hand, während die zweite Hand das Tablet halten muss. Diese Form der Eingabe ist durchaus fehleranfällig und mit erheblichem Aufwand für den Anwendenden verbunden. Serveradressen beinhaltet meist Sonderzeichen, die nicht auf der ersten Seite der Bildschirmtastatur hinterlegt sind. Folglich muss zwischen verschiedenen Ebenen der Tastatur gewechselt werden. Diese offensichtlich unpraktische Bedienung könnte durch die Verwendung von QR-Codes oder NFC-Tags abgelöst werden. Die dort hinterlegten URLs könnten dann einfach durch das Tablet ausgelesen werden.

Der Status der Umsetzung des letzten Abschnittes wird in [Tabelle 6.4](#) visualisiert:

Tabelle 6.4: Weitere allgemeine Anforderungen im Bereich Interaktion

Anforderung	Beschreibung	Status
FAI4	Ungültige Interaktionen	o
FAI5	Beeinflussung AR-Erlebnis	o

Die [FAI4](#) betreffenden Konzeptabschnitte sind nur teilweise im Prototypen umgesetzt worden. So wurde auf die Verwendung von Symbolen als zusätzliche visuelle Ausgabe aus Zeitgründen verzichtet. Die Spalte **VU** aus [Tabelle 4.2](#) ist zu 50 % umgesetzt worden. Es wurden die Zeilen *Beschäftigt*, *Eingabeabbruch* und *Erfolg* in der Applikation implementiert. Für die drei fehlenden Ausgaben wurde die Umsetzung aufgeschoben, da sich für die aktuelle Applikation kein

Anwendungsfall finden ließ. Die Anforderung ist somit zurecht nur als *teilweise umgesetzt* zu bewerten. FAI5 teilt sich in die zwei Unteranforderungen FAI51 und FAI52 auf. Erstere wird als *vollständig umgesetzt* verifiziert, wobei es sich dabei aber um eine subjektive Einschätzung handelt. Die Körperhaltung während Interaktion über das Touchdisplay kann durch die Benutzenden frei gewählt werden. Des Weiteren ist die Komplexität der Touch-Gesten gering, sodass sie zügig und meist fehlerfrei verwendet werden können. Auch haben die Anwendenden denselben Funktionsumfang zur Steuerung der jeweiligen Prozessgeräte, die auch das Hauptfenster der jeweiligen Webinterfaces der Module bereitstellt. Die Erfüllung von FAI52 ist für den Berührungsbefehlssatz schwierig umzusetzen. Die Gesten für die Steuerung der Prozessgeräte sind kritisch zu sehen. Zwar ist die Interaktion möglichst simpel gestaltet, dennoch lassen sich kaum Parallelen zur Interaktion in der Realität ziehen. Als bestes Beispiel ist hier der Rührer zu nennen. Vermöglich erwartet man hier einen Kreis oder ähnliches als Geste. *Rühren* oder *umrühren* erweckt die Assoziation von einem Löffel der kreisförmig durch einen Kochtopf bewegt wird. Die Geste zur Steuerung der Heizung ist missverständlich, da sie zu sehr einem Haken gleicht, der oft als Bestätigungssymbol verwendet wird. Als Lösung könnte die Geste an der horizontalen Achse gespiegelt werden, sodass aus dem Kelch ein Dach wird. Zwar ist mehr oder minder erfolgreich versucht worden FAI5 zu erfüllen, doch das Ergebnis ist insgesamt als *teilweise umgesetzt* zu bewerten.

Nichtfunktionale Anforderungen legen zusätzliche Kriterien an das Produkt fest, die primär nicht dessen Funktionalitätsumfang beeinflussen. Die in Abschnitt A.3 genannten Punkte sind, bis auf das Corporate Design der TU Dresden, vollständig erfüllt worden. Im Farbregister nach [Kad17] existiert aktuell weder für Rot noch Gelb eine Farbvorlage. Tabelle 6.5 zeigt zusammenfassend den aktuellen Stand der Umsetzung:

Tabelle 6.5: Nichtfunktionale Anforderungen der Interaktion und Umsetzungstatus.

Anforderung	Beschreibung	Status
NFAI1	Unity3D	X
NFAI2	Android	X
NFAI3	Corporate Design	o

Bewertung des Interaktionskonzeptes

Die prototypische Umsetzung des Konzeptes in Form der Applikation erfüllt demnach alle Anforderungen aus dem Teilbereich der Interaktion. Des Weiteren bedarf es einer Validierung des eigentlichen Konzeptes, um dessen Qualität abschätzen zu können. Der Eingabebefehlssatz nach [Tabelle 4.1](#) wurde nahezu vollständig implementiert. Einzig die Berührungsgesten *Drag & Drop* und *Über den Rand hinaus ziehen* des Befehls **Abwahl einzelner Elemente** wurden nicht umgesetzt. Zwar konnten beide Funktionalitäten in einer Testapplikation implementiert werden, hätten aber zu größeren Eingriffen in dem GUI der bestehenden Applikation geführt. Der damit zeitlich verbundene Aufwand wurde als nicht zweckmäßig erachtet, sodass bisher eine von drei Gesten im Prototypen umgesetzt wurde. Im Übrigen sind alle drei Berührungsgesten Teil des Gestensets nach [\[Wob+09\]](#).

Die Touch-Gesten zur Steuerung der Prozessgeräte sind bewusst einfach gehalten worden. Sie sollen einprägsam und leicht durch den Anwendenden zu erlernen sein. Gleichzeitig ermöglichen die simplen Formen ein zuverlässiges Tracking. Dennoch erlaubt die einzelne Geste selbst keinen Rückschluss auf das jeweilige Prozessgerät und es bedarf einer Schulung oder einem Tutorial, um die Gesten zu erlernen. Die Gesten sind weder intuitiv, noch das Resultat einer Studie. Eine vorige Version des Bedienkonzeptes sah für den Rührer bzw. den Mixer einen Kreis als Interaktionsgeste vor. Aus Sicht der Immersion, ist diese Geste besser geeignet. Beim Versuch der Implementierung stellte sich heraus, dass das Zeichnen eines Kreises auf einem Tablet ohne visuelles Feedback kompliziert ist, sodass zu diesem Zeitpunkt ein zuverlässiges Tracking unmöglich erschien. Die Steuerungsgeste des Kreises ist deshalb durch die diagonale Gerade ersetzt worden, welche einfacher auszuführen und besser zu tracken ist. Während der Konzeptumsetzung entstand die in [Abbildung 5.3](#) zu sehende Visualisierung der Touch-Gesten durch einzelne Punkte. Diese vereinfacht das Zeichnen eines Kreises auf einem Tabletdisplay deutlich, sodass die Geste zur Steuerung für Rührer und Mixer wieder in Betracht gezogen werden kann. Aus zeitlichen Gründen ist jedoch darauf verzichtet worden.

Die visuelle Ausgabe nach [Tabelle 4.2](#) wurde, wie bereits beschrieben, mehrheitlich so im Prototypen umgesetzt. Dabei gibt es von Seiten des Aggregating

Servers Probleme¹ bei der Datenübertragung, sodass eine korrekte Rückmeldung nur in den seltensten Fällen gelingt. Neue Prozesswerte werden immer auf die einzelnen OPC UA Server geschrieben, aber es erfolgt nur sporadisch eine Aktualisierung der Knoten auf dem Aggregating Server. Dieses Verhalten tritt unabhängig davon auf, ob man die lehrstuhleigene RestAPI als OPC UA Client verwendet oder externe Software, wie UAExpert. Steuert man hingegen die OPC UA Server direkt über die einzelnen Web-Oberflächen, funktionieren die Subscriptions des Aggregating Servers zuverlässig und die visuelle Ausgabe ist korrekt. Es ist nicht ganz ersichtlich, an welcher Stelle dieser Fehler zu finden ist. Mögliche Fehlerquellen sind eine unsaubere Implementierung des Aggregating Servers, der RestAPI oder allgemein das Netzwerk selbst. Die Applikation kann als Ursache ausgeschlossen werden, da diese selbst nicht als OPC UA Client in Erscheinung tritt.

Grundlegende Einschätzung eines Experten

Die Applikation wurde Max Alexej Pötter vorgestellt. Er ist Student des Technischen Designs der Fakultät für Maschinenwesen an der TU Dresden und arbeitet als studentische Hilfskraft aktuell bei der Professur für Prozessleittechnik. Das Feedback war durchaus positiv. Besonders wurde die Steuerung via Touch-Gesten hervorgehoben. Für einen Prototypen konnte der Gesamteinindruck des Interaktionskonzeptes überzeugen. Während des Gesprächs sind zwei Verbesserungsvorschläge genannt worden. Zum Einen könnten mit steigender Zahl an Geräteklassen die Menge an unterschiedlichen Touch-Gesten erheblich anwachsen, sodass die Gefahr besteht, während des Gebrauchs die Form der einzelnen Gesten nicht mehr im Gedächtnis zu haben. Dies kann vor allem dann auftreten, wenn der Anwendende die Applikation längere Zeit nicht verwendet hat oder es zu Stress durch Gefahrensituationen kommt. Abhilfe können beispielsweise kleine Erinnerungssymbole in den einzelnen Informationsfeldern auf der rechten Seite des UI leisten. Eine mögliche Umsetzung ist in [Abbildung 6.1](#) visualisiert. Zum Anderen wurde angemerkt, dass aktuell schwer unterschieden werden kann, ob es sich um ein Handventil oder ein elektrisch ansteuerbares Ventil handelt, wie man in [Abbildung 6.2](#) sehen kann. Ebenso fehlt eine markante Rückmeldung, wenn das vermeintliche Ansteuern des Handventsils

¹: Laut einem Mitarbeitenden der Professur kann es zu Problemen führen, wenn mehrere Clients mit dem Aggregating Server kommunizieren bzw. kommuniziert haben.

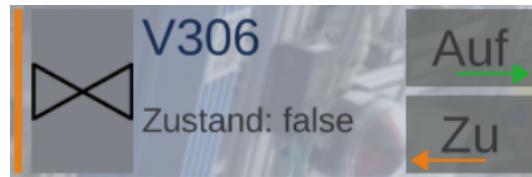


Abbildung 6.1: Mockup mit Erinnerungssymbol für Interaktion im UI-Prefab des Gerätes

fehlschlägt. Dies könnte durch ein Symbol innerhalb des Informationsfeldes visualisiert werden, wie zum Beispiel ein Ausrufezeichen in [Abbildung 6.3](#).



Abbildung 6.2: UI-Prefabs der verschiedenen Ventilklassen im direkten Vergleich

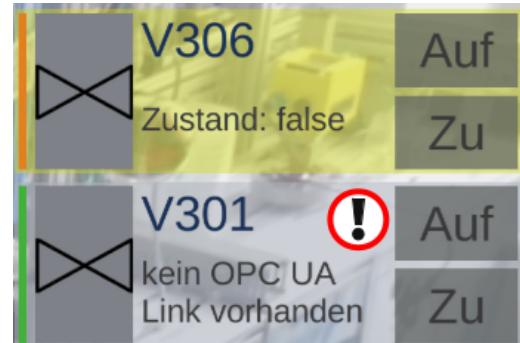


Abbildung 6.3: Mockup mit Rückmeldung eines Handventils nach einer versuchten Ansteuerung

6.2 Markerdesign

Die neuen Marker der MokA sind nach [Abschnitt 4.2](#) in Folge einer heuristischen Herangehensweise entstanden. Wie bereits in [Unterabschnitt 2.2.2](#) beschrieben, ist auch die wissenschaftliche Literatur zu diesem Thema begrenzt. Somit sind die Anforderungen aus [Abschnitt A.2](#) und [Abschnitt A.4](#) grundsätzlich allgemeiner formuliert. [Tabelle 6.8](#) zeigt den aktuellen Status der bisherigen Umsetzung:

Tabelle 6.6: Status der Umsetzung funktionaler Anforderungen des Themenbereiches AR-Marker

Anforderung	Beschreibung	Status
FAM1	Designkriterien	X
FAM11	Kontraststufen	X
FAM12	Geometrische Beziehungen	X
FAM121	ausgewogene Verteilung	X
FAM13	Erkennungsmerkmale	X
FAM2	Flexibilität	o
FAM21	Distanz	X
FAM22	Winkel	X
FAM23	Lichtverhältnisse	-
FAM3	eineindeutig	X

FAM1 und deren Unteranforderungen wurden vollständig umgesetzt. Es existieren unterschiedliche Kontraste, geometrische Beziehungen und deren ausgewogene Verteilung. Auch Erkennungsmerkmale für unterschiedliche Abstände und Skalierungen sind Bestandteil des Konzeptes, welche durch die drei unterschiedlichen Ebenen entstehen. FAM2 und der Begriff der Flexibilität lässt sich nur im Vergleich zum bisherigen Marker auswerten. Während FAM21 und FAM22 durch sorgfältige Messreihen ausgewertet werden konnten, bot sich keine Möglichkeit stabile und unterschiedliche Lichtverhältnisse zu erzeugen und dann zu validieren, sodass FAM23 als *nicht umgesetzt* einzuordnen ist. Die Auswertung zur Erfüllung von FAM3 ist nicht trivial. Jeder Marker, der nach dem neuen Konzept erstellt wird, soll einzigartig sein. Es sollen also praktisch unendlich viele Marker generiert werden können. Vernachlässigt man vorerst die mögliche Rotation der einzelnen Elemente kommt man auf die Menge von ca. $1,85 \cdot 10^{15}$ unterschiedlichen Markern. Aktuell ist kein Szenario vorstellbar, das diesen Markerpool aufbrauchen könnte. Gerade in der Prozessindustrie ist denkbar, dass identische Marker für unterschiedliche Anlagen an verschiedenen Orten verwendet werden können. Sollte die Zahl an maximal möglichen Markern zukünftig nicht ausreichen, kann diese durch die Erweiterung des Elementepools in Abbildung C.1 weiter vergrößert werden. Schließt man nun nicht mehr die Rotation aus lassen sich unendlich viele Marker erstellen, da die Menge an

6 Verifikation der Umsetzung

reellen Zahlen zwischen zwei ganzen Zahlen unendlich² beträgt. Allerdings ist diese Betrachtung als rein akademisch zu bewerten, da aktuell keine Kamera existiert, die diese kleinsten rotatorischen Unterschiede der Elemente innerhalb des Markers erkennen könnte. Schlussendlich kann **FAM3** als *vollständig umgesetzt* betrachtet werden.

Wie bereits angedeutet, ist die Erfüllung von **FAM21** und **FAM22** mittels einer kleinen Studie überprüft worden. Näheres zu Ablauf, Aufbau und Umfang der Studie ist Anhang **D** zu entnehmen. Das Ergebnis der Auswertung ist in **Tabelle 6.7** dargestellt:

Tabelle 6.7: Ergebnisse der Markerstudie mit vollständigen Messergebnis

Aufbau	alter Marker (in cm)	neuer Marker (in cm)
0° - min. Abstand	88,6 ± 2,099	122,1 ± 1,596
0° - max. Abstand	424,1 ± 88,41	553,6 ± 47,644
30° - min. Abstand	77,1 ± 3,274	106,6 ± 2,189
30° - max. Abstand	341,1 ± 88,498	446,3 ± 40,808
45° - min. Abstand	36,625 ± 5,601	83,6 ± 1,691
45° - max. Abstand	286,9 ± 78,164	447,1 ± 48,742

Ziel der Studie war das Überprüfen einer Verbesserung oder Verschlechterung des Trackings durch den neuen Marker gegenüber dem alten Marker. In allen Kategorien arbeitet das neue Markerkonzept besser als das alte. Unter einem horizontalen Winkel von 0° erfolgt das erstmalige Tracking des alten Markers im Mittel um 88,6 cm und des neuen um 122,1 cm, was eine Vergrößerung des minimalen Abstandes um ca. 40 % bedeutet. Auch die Distanz bis zum Abbruch des Trackings hat sich um ca. 30 % durch den neuen Marker verbessert. Ist die Kamera nicht mehr frontal auf den Marker gerichtet, wird das Tracking erschwert und die Distanzen für zuverlässiges Tracking verringern sich allgemein, wie man in **Tabelle 6.7** ablesen kann. Das neue Markerdesign kann dabei jedoch deutlich besser abschneiden. Unter einem Winkel von 45° erfolgt im Mittel ein zuverlässiges Tracking bereits ab ca. 83,6 cm, während der alte Marker im Mittel erst bei ca. 38,6 cm erkannt wird. Dies entspricht einer Steigerung von etwa 200 % auf der Nahdistanz. Zusätzlich wurde der alte Marker unter

²: Nach [Lot] sind reelle Zahlen nicht nummerierbar und folglich nicht abzählbar.

diesem Winkel in zwei Versuchen gar nicht durch die Kamera erkannt. Die Ergebnisse zeigen eindeutig eine Verbesserung der Trackrate durch die neuen Marker. Dadurch ist die Bewegungsfreiheit der Benutzenden erhöht und somit das AR-Erlebnis verbessert.

Die nichtfunktionalen Anforderungen aus [Abschnitt A.4](#) konnten teilweise umgesetzt werden. Dies liegt an der sehr allgemeinen Formulierung, sowie der Möglichkeit einer meist objektiven Bewertung der einzelnen Punkte.

Tabelle 6.8: Status der Umsetzung der nichtfunktionalen Anforderungen des Bereichs AR-Marker

Anforderung	Beschreibung	Status
NFAM1	Einsatzfeld Prozessindustrie	X
NFAM11	Prozessumfeld	X
NFAM111	Sicherheitskonzept	X
NFAM2	Erscheinungsbild	o
NFAM21	dominieren	o
NFAM22	verdecken	o

Die Marker können in der Prozessindustrie eingesetzt werden, aber auch in allen anderen Bereichen. Für die MokA kann papierartiges Trägermaterial verwendet werden, in realen Anlagen sollte hingegen robusteres Material zum Einsatz kommen. Das Konzept ist an dieser Stelle bewusst offen formuliert. Die Sicherheit der Anlage beziehungsweise deren Module wird durch das Anbringen der Marker nicht gefährdet. [NFAM2](#) ist rein objektiv zu bewerten. Die Marker dominieren zwar nicht das Erscheinungsbild, sind aber ein Teil davon. Auch lässt es sich meist nicht verhindern, dass kleine Prozessgeräte wie ein Ventil oder eine Pumpe innerhalb der MokA durch Marker verdeckt werden. Diese Problematik kann schon während des Anbringens eines Markers durch die Wahl einer geeigneten Position umgangen werden. So wird der Zugang und die Sichtbarkeit kritischer Komponenten gewährleistet. In größeren Anlagen liegt hier ohnehin seltener ein Problem vor, da die verwendeten Prozessgeräte oft vielfach größer sind und die Größe des Markers nicht zwangsläufig mit der Größe der Anlagenkomponenten korreliert.

7 Zusammenfassung & Ausblick

Die Möglichkeiten für Augmented Reality als Teil einer Benutzungsoberfläche scheinen aktuell unbegrenzt. Auch für die MokA existiert nun eine AR-Applikation, die zum Einen Prozessdaten visualisiert und zum Anderen eine rudimentäre Steuerung der Anlage erlaubt. Freilich sind hier zukünftig noch einige Verbesserungen und Erweiterungen möglich, die im Folgenden kurz angedeutet werden sollen.

Momentan existiert nur eine binäre Steuerung, die lediglich die Zustände *an* und *aus* erlaubt. Aktuelle Prozessgeräte können heute bereits weit komplexe Steuerbefehle interpretieren und ausführen. Diese werden analysiert und geräteinterne Regler sorgen für die Änderung des Ist-Wertes auf den vorgegebenen Soll-Wert. Das Interaktionskonzept ist dahingehend zu erweitern, dass solche Befehle ebenfalls übermittelt werden können. Für Handheldgeräte könnte dafür beispielsweise die Funktion des *force touch* bzw. *3D-touch* verwendet werden, um Zahlenwerte nicht mehr per Tastatur eingeben zu müssen. Blickt man ein Stück weit in die Zukunft scheint es nicht mehr zeitgerecht, einzelne Prozessgeräte manuell zu steuern. Befehle sollten dann allgemeiner formuliert werden dürfen. Dies könnte, wie in [Hah+18] beschrieben, durch die Definition von verschiedenen Abstraktionsebenen in der Visualisierung der Anlagentopologie erfolgen. Eine übergeordnete Prozessführungsebene könnte dann den Operator bei seinen Aufgaben unterstützen. Auf der untersten Ebene erfolgt die Steuerung der Geräte noch manuell, während auf den mittleren Ebenen zunehmend die Prozessführung diese Aufgaben übernehmen könnte. Befehle, wie „*Pumpe Inhalt von Tank A in Tank B!*“, würden dann per Tablet übermittelt werden. Das Ziel wäre die Steuerung kompletter Rezepte von Anlagen über ein AR-System. Dies wäre ein weiterer Schritt in die Vermenschlichung der Kommunikation zwischen Mensch & Maschine und damit letztendlich, durch das akzeptiertere User Interface, eine Verbesserung der Arbeitssituation vor Ort.

Das Entwerfen eigener Gesten für die Steuerung von Prozessgeräten war spannend und interessant, da die Möglichkeit bestand eigene Ideen umzusetzen.

Wie bereits die Auswertung in [Abschnitt 6.1](#) erläutert, sind diese einfach durch das System zu erkennen, erhöhen aber nicht die Immersion der Applikation. Um ein Gestenset ganz im Sinne von [\[Piu+13\]](#) und [\[Wob+09\]](#) zu entwerfen bedarf es einer ausführlichen Studie zu dem Thema mit Fachpersonal aus der Prozessindustrie. Dieses würde dann auf empirischen Erkenntnissen basieren und zu einer höheren Akzeptanz unter den Anwendenden führen.

Das Tracking von manuell erstellten Markern wird auf kurz oder lang nicht mehr Bestandteil von AR-Systemen sein. Vielmehr wird sich das *markerless tracking* zukünftig derart verbessern, dass es auch zuverlässig in der Industrie eingesetzt werden kann. Spätestens dann haben AR-Marker ausgedient und könnten auch von der MokA entfernt werden. Die Umstellung von *marker tracking* auf *markerless tracking* würde die Flexibilität des Bedienenden deutlich erhöhen, da dieser nicht mehr auf das Fokusieren des lokalen Markers angewiesen ist.

Aktuell sind aber, gerade für AR-Anwendungen in der Industrie, Marker durchaus relevant. Um zukünftig eine manuelle Erstellung zu umgehen, bietet sich die Implementierung eines Generators an, der automatisch Marker nach dem Konzept in [Abschnitt 4.2](#) erzeugt. Die Anleitung in Anhang C kann dazu als möglicher Algorithmus dienen. Dabei besteht keine Garantie, dass das neue Markerkonzept neben KudanAR für andere AR-Frameworks funktioniert, sodass dies erst zu überprüfen wäre.

Nur teilweise mit dem Kernthema verbunden aber dennoch unersetzlich sind die externen Datenbasen OPC UA und LinkedData. Deren Informationsgehalt ist teilweise erweiterungs- und überarbeitungsbedürftig. Sind die notwendigen Informationen nicht modellierbar, müssen die Modellierungsansätze erweitert oder angepasst werden. Idealerweise existiert zukünftig eine Datenbasis, die statische und dynamische Daten speichert und zur Verfügung stellt. Eine Integration oder Transformation von LinkedData in OPC UA oder die Modellierung statischer Daten direkt in OPC UA sind denkbar. Ein erster Schritt dahin ist das Bereitstellen einer Schnittstelle, die beide Datenbasen derart verknüpft, dass bei zukünftigen Softwareprojekten auf ein internes Mapping zwischen OPC UA und LinkedData verzichtet werden kann.

Das Feld für neue Aufgaben aus dem Themenbereich AR scheint für die Ernte bereit zu sein. Vieles, was aktuell im Kino als futuristische Interaktionsoberflä-

7 Zusammenfassung & Ausblick

chen zu sehen ist, wirkt in naher Zukunft umsetzbar. Ingenieure werden ihre Produkte, wie Tony Stark aus Iron Man, mithilfe interaktiver Benutzeroberflächen entwickeln. Die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine wird, wie in der Trilogie *Matrix* oder der TV-Serie *Westworld*, der zwischen zwei Menschen gleichen. Auch für die Industrie steckt hier zukünftig viel Entwicklungspotential. Dass Maschinen die Arbeitsplätze von Menschen übernehmen, wird durch diese Entwicklung weiter beschleunigt. Somit sind es die Menschen selbst, die zukünftig dafür sorgen müssen, dass diese Art des Fortschritts nicht nur einem kleinen Teil der Gesellschaft, sondern allen dienen wird.

Anhang

A Umfangreiches Material zu

Unterabschnitt 3.1.4: Anforderungen

Anhang A stellt gesondert alle definierten Nutzeranforderungen dieser Studienarbeit bereit. Es werden erst die funktionalen Anforderungen und dann die nichtfunktionalen Anforderungen der Interaktion und des Markerdesigns aufgelistet. In [Abschnitt A.5](#) ist unterstützendes Grafikmaterial hinterlegt.

A.1 Funktionale Anforderungen Interaktion - FAI

FAI1 Der Bereich Steuerung soll die Interaktion zwischen Mensch und Maschine behandeln. Es soll ...

FAI11 ... eine Steuerung von Heizungen über das Tablet existieren. Befehl:

FAI111 „Heizung an!“

FAI112 „Heizung aus!“

FAI12 ... eine Steuerung von Pumpen über das Tablet existieren. Befehle:

FAI121 „Pumpe an!“

FAI122 „Pumpe aus!“

FAI13 ... eine Steuerung von Rührern über das Tablet existieren. Befehle:

FAI131 „Rührer an!“

FAI132 „Rührer aus!“

FAI14 ... eine Steuerung von Ventilen über das Tablet existieren. Befehle:

FAI141 „Ventil öffnen!“

FAI142 „Ventil schließen!“

FAI2 Der Bereich Navigation soll die Interaktion zwischen Mensch und Tablet behandeln. Es soll ...

A Umfangreiches Material zu [Unterabschnitt 3.1.4: Anforderungen](#)

FAI21 ... eine Möglichkeit existieren, zwischen unterschiedlichen App-Szenen¹ zu navigieren.

FAI22 ... eine Möglichkeit existieren, (gezielt) Elemente der App-Szene auszuwählen.

FAI23 ... eine Möglichkeit existieren, die App zu beenden.

FAI3 Der Bereich Eingabe soll grundlegende Interaktionen zwischen Mensch, Tablet und Anlage behandeln. Es soll ...

FAI31 ... die Eingabe von Zeichen (Buchstaben, Nummern, Sonderzeichen) möglich sein.

FAI32 ... das Ändern der Quelle von externen Datenbasen wie ... möglich sein.

FAI321 ... OPC UA ...

FAI322 ... LinkedData ...

FAI4 Ungültige² Interaktionsversuche sollen ...

FAI41 ... verworfen werden.

FAI42 ... dem User zurückgemeldet werden.

FAI5 Interaktionen sollen das subjektive AR-Erlebnis verbessern. D.h. es soll ...

FAI51 ... die Mobilität des Benutzenden nicht eingeschränkt werden. Der Begriff Mobilität fasst in diesem Kontext mehreren Komponenten zusammen:

FAI511 Körperhaltung

FAI512 Bewegungsumfang und -aufwand

FAI513 Anlagenbedienung

¹: Unity3D beschreibt Szenen als individuelle Level einer App, sodass diese in einzelnen Abschnitten aufgebaut werden kann. In der konkreten Applikation kann man z.B. zwischen der Hauptszene mit AR und einem Einstellungsmenü wechseln, die jeweils in unterschiedlichen Szenen implementiert wurden.

²: Ungültig bedeutet hier, dass eine Interaktion durchgeführt wurde, die im aktuellen Kontext nicht gültig ist. Z.B. das Öffnen eines Ventils, durch die Interaktion zum Einschalten der Heizung.

FAI52 ... für jede Interaktion mit einem Prozessgerät eine möglichst einfache, aber der Realität³ ähnelnde, Variante entworfen werden.

A.2 Funktionale Anforderungen Marker - FAM

FAM1 Die AR-Marker sollen den Designkriterien aus [Unterabschnitt 2.2.2](#) genügen. Es soll/-en ...

FAM11 ... unterschiedliche Kontraststufen existieren.

FAM12 ... markante Beziehungen zwischen mehreren Features existieren. Dabei soll ...

FAM121 ... eine ausgewogene Verteilung von Features auf dem Marker herrschen.

FAM13 ... Erkennungsmerkmale für unterschiedliche ... existieren.

FAM131 ... Skalierungen bzw. Abstände ...

FAM2 Die Flexibilität soll während des AR-Erlebnisses erhöht werden. Der AR-Marker soll das Tracking ... unterstützen.

FAM21 ... auf unterschiedlichen Distanzen ...

FAM22 ... aus unterschiedlichen Winkeln ...

FAM23 ... bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen ...

FAM3 Jeder AR-Marker soll eineindeutig sein.

A.3 Nichtfunktionale Anforderungen Interaktion - NFAI

NFAI1 Die Implementierung soll in der Entwicklungsumgebung Unity3D erfolgen.

NFAI11 Es soll C# oder JavaScript als Programmiersprache verwendet werden.

NFAI2 Die Applikation soll für das OS Android entwickelt werden.

³: Die unterschiedlichen Interaktionen mit der AR-Applikation sollen, so weit wie möglich, den Interaktionen mit realen Prozessgeräten gleichen, um die Immersion zu erhöhen.

NFAI21 Die Applikation soll auf allen Geräten ab Android „KitKat“ (Version 4.4) aufwärts funktionieren.

NFAI3 Visuelle Ausgaben sollen dem Farbschema der TU Dresden genügen.

A.4 Nichtfunktionale Anforderungen Marker - NFAM

NFAM1 Die AR-Marker sollen in der Prozessindustrie einsetzbar sein.

NFAM11 Das Trägermaterial soll dem Prozessumfeld genügen.

NFAM111 Das Sicherheitskonzept der Anlage/des Moduls soll durch das gewählte Material nicht beeinträchtigt werden.

NFAM2 Der AR-Marker soll das Erscheinungsbild des Moduls/der Anlage nicht maßgeblich beeinträchtigen. D.h. der Marker soll ...

NFAM21 ... nicht das Erscheinungsbild dominieren.

NFAM22 ... Prozessgeräte nur teilweise verdecken.

A.5 Diagramme

[Abbildung A.1](#) visualisiert mögliche Anwendungsfälle, die zu einer Interaktion mit dem System führen. Die Modellierung erfolgte in UML 2.5 nach den Regeln eines Anwendungsfalldiagrammes. Als System sei hier das Tablet gewählt. Als Akteure treten während der Interaktion formal nur der Benutzende und die RestAPI in Kontakt. Die RestAPI dient jedoch als Schnittstelle zu weiteren Systemen, die hier ebenfalls als Akteure modelliert sind.

Die Interaktion *Geräte steuern* ist der komplexeste Anwendungsfall in [Abbildung A.1](#) und wird deshalb in einem Aktivitätsdiagramm in [Abbildung A.2](#) ausführlicher modelliert. Grundsätzlich muss der Interaktionsversuch erkannt und ausgewertet werden. Ist die Interaktion valide, kann sie bearbeitet werden und das Gerät wird gesteuert. Generell sollen positive und negative Resultate rückgemeldet werden.

A Umfangreiches Material zu Unterabschnitt 3.1.4: Anforderungen

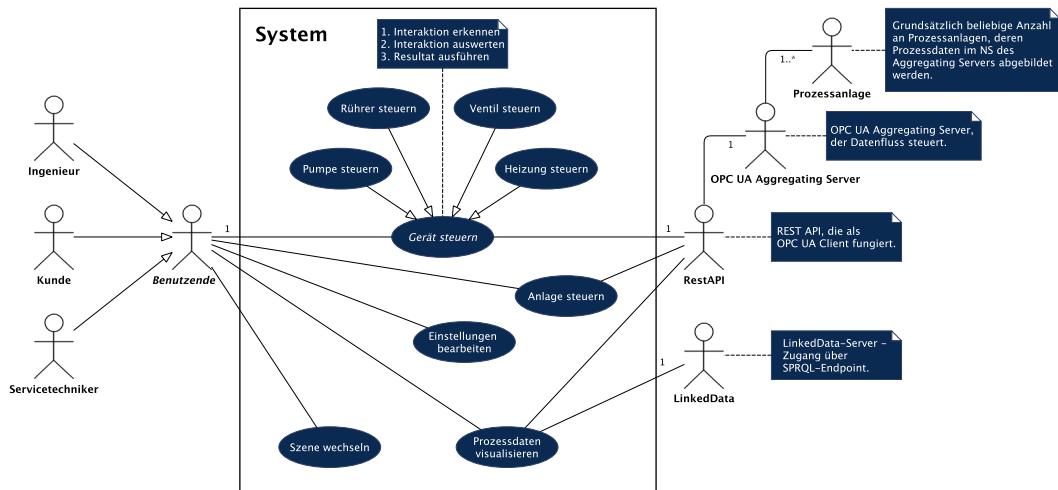


Abbildung A.1: Anwendungsfalldiagramm: Interaktion

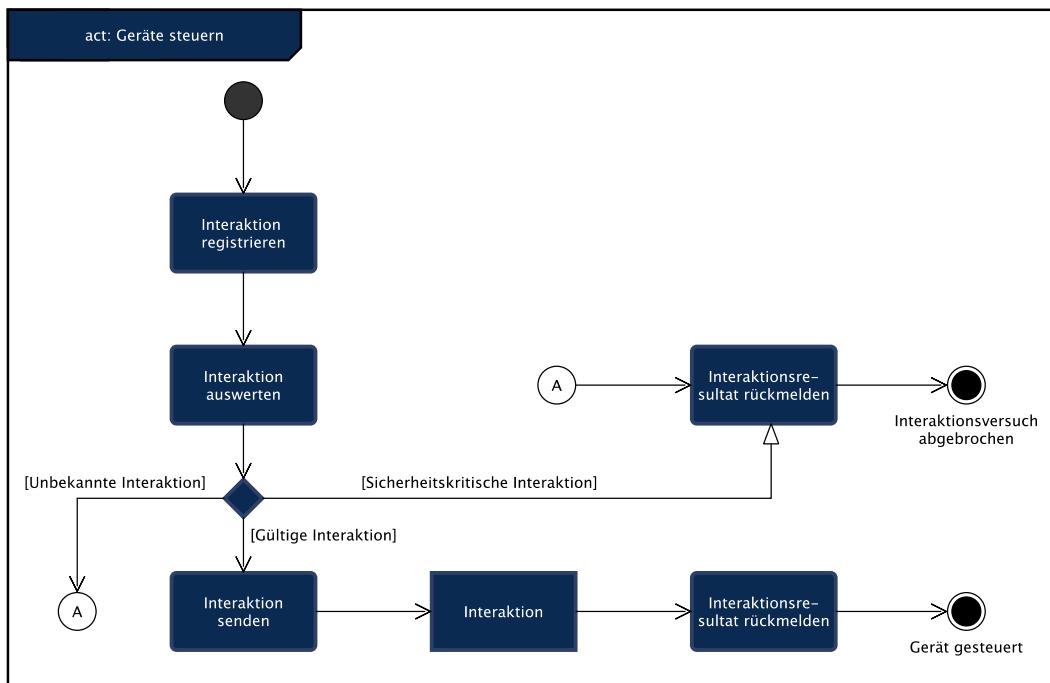


Abbildung A.2: Aktivitätsdiagramm: Geräte steuern

A Umfangreiches Material zu Unterabschnitt 3.1.4: Anforderungen

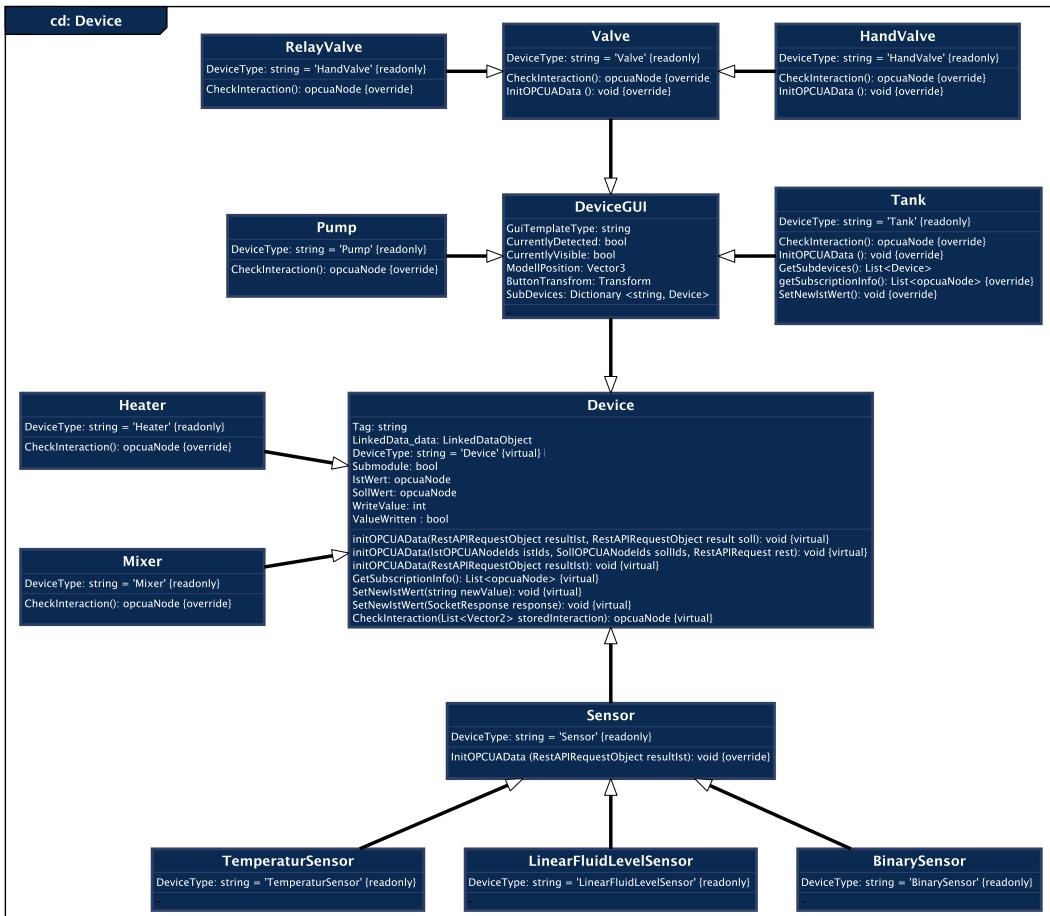


Abbildung A.3: Vererbungsstruktur zwischen `Device` und dessen Subklassen in einem Klassendiagramm nach UML 2.5. Aus Übersichtsgründen wurde auf die Darstellung der privaten Variablen und Methoden verzichtet.

B Automatisiertes Auslesen von OPC UA Nodelds durch eine Erweiterung der RestAPI

Wie in [Unterabschnitt 3.1.2](#) beschrieben, dient die MokA als Forschungsobjekt im Bereich der modularen Automation. Die AR-Applikation verwendet den Aggregating Server der Anlage um Prozessdaten abzurufen oder zu schreiben. Dazu werden die einzelnen NodeIds der OPC UA Knoten gebraucht. Die Software der Anlage ändert sich immer wieder nach individuellen Anpassungen, was dazu führt, dass sich die NodeIds potenziell verändern können. Die Lösung des Oberseminars bestand auf fest eingetragenen NodeIds, sodass die Applikation nur für die damals aktuelle Softwareversion funktionierte. Dieses Vorgehen ist in einem dynamischen System, wie der MokA, nicht praktikabel. Eine mögliche Lösung und deren Umsetzung soll im Folgenden kurz beschrieben werden.

Erweiterung der existierenden RestAPI

Die RestAPI wurde um die Route `/getSubNodesBrowsePath` ergänzt, welche alle Nodes und deren Id auf Ebene des angegebenen Browsepath als JSON-Objekt zurückgibt. Über einen HTTP-GET-Request können die Daten abgerufen werden. In [Abbildung B.1](#) geschieht dies in Aktivität *REST API konsultieren*. Die neue Route kann für beliebige Browsepaths angewendet werden und ist daher auch über die Studienarbeit hinaus verwendbar. Der Pfad ist als String in der HTTP-Query zu übergeben. Für weitere Informationen sei an dieser Stelle auf die RestAPI der Professur verwiesen.

Node-Mapping in der Applikation

Die Applikation hat das JSONO-bjekt abgerufen und dessen Struktur und Inhalt sind valide. Es folgt die in [Abbildung B.1](#) visualisierte Aktivität *Mapping*. Das bereits bestehende Mapping wird einfach mit den aktuell abgefragten NodeIds durchgeführt und dann in der Aktivität *Datenbasis aktualisieren* gespeichert, sodass die Ids nicht mehr fest eingetragen vorliegen müssen. Was

B Automatisiertes Auslesen von OPC UA NodeIds durch eine Erweiterung der RestAPI

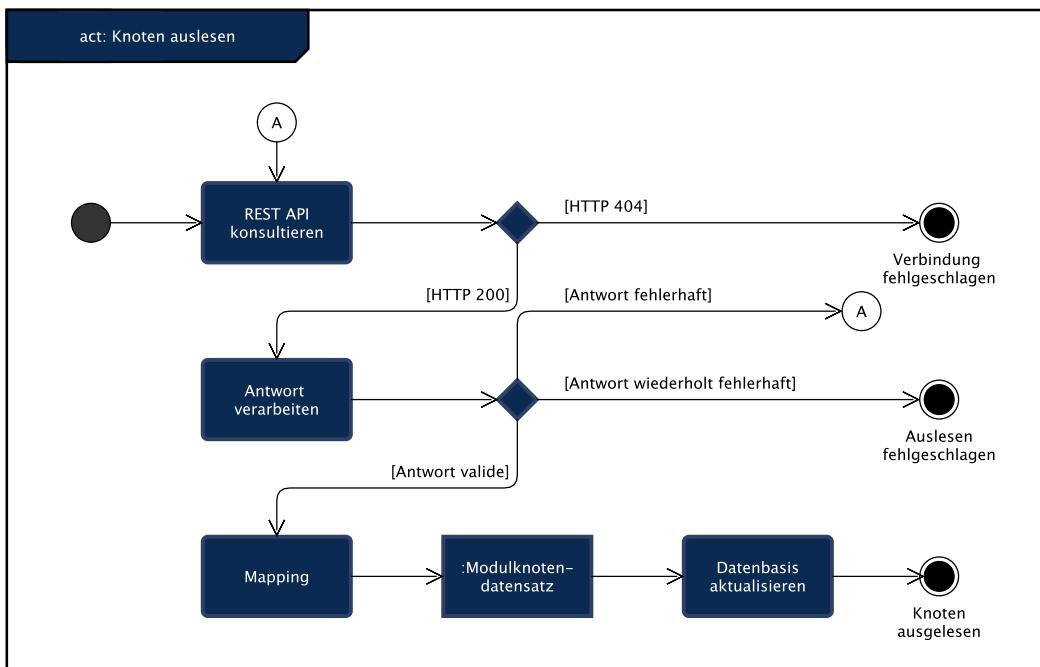


Abbildung B.1: Aktivitätsdiagramm: *Knoten auslesen*

bleibt, sind die statischen Gerätenamen, die sich zwischen OPC UA und Linked-Data unterscheiden. Diese Lösung geht davon aus, dass sich die Gerätenamen deutlich weniger häufig ändern als deren NodeIds. Die komplette Automation des Mappings lässt sich solange nicht umsetzen, bis die Datensätze aus OPC UA und LinkedData die dazu notwendigen Informationen enthalten. Bis dahin existiert nun eine Teilautomation, die nur bei einer Änderung der Gerätenamen angepasst werden muss.

C Schritt für Schritt zum eigenen KudanAR-Marker

Es folgt eine Anleitung zur Erstellung eigener AR-Marker für das Framework KudanAR. Der Entwurf ist in [Abschnitt 4.2](#) beschrieben. Die Anleitung kann für eine manuelle Umsetzung oder für eine softwareseitige Implementierung benutzt werden. Der Farocode in RGB der einzelnen Farben lautet:

schwarz: 000, 000, 000

grau: 128, 128, 128

weiß: 255, 255, 255

Schritt 1: Erstellung eines Quadrates mit einer Seitenlänge von 19 Einheiten. Die Dicke des Umrisses beträgt 6pt. Die Farbe ist schwarz. [Abbildung C.2](#) visualisiert den Fortschritt nach Arbeitsschritt 1 und ist um die für den weiteren Ablauf markante Punkte und Längeneinheiten ergänzt.

Schritt 2: Wahl des Elements¹ für Ebene 1 aus dem Elementepool in [Abbildung C.1](#). Platzierung an Position X. Die Füllung ist grau. Breite und Höhe sind jeweils 10 LE². Für das gleichseitige Dreieck ist die Höhe gesondert zu bestimmen oder aus [Tabelle C.1](#) abzulesen.

Schritt 3: Füllen des Umrisses des in Schritt 1 gewählten Basiselements mit Elementen aus [Abbildung C.1](#). Das Einsetzen erfolgt auf den orange markierten Stellen. Die Füllung ist jeweils schwarz. Breite und Höhe sind 3 LE. Höhe des Dreiecks ggf. anpassen.

Schritt 4: Wahl des Elements für Ebene 2 aus dem Elementepool in [Abbildung C.1](#). Platzierung an Position X. Die Füllung ist schwarz. Breite und Höhe

¹Orientierung für dieses und alle nachfolgenden Elemente ist beliebig

²Längeneinheit/en

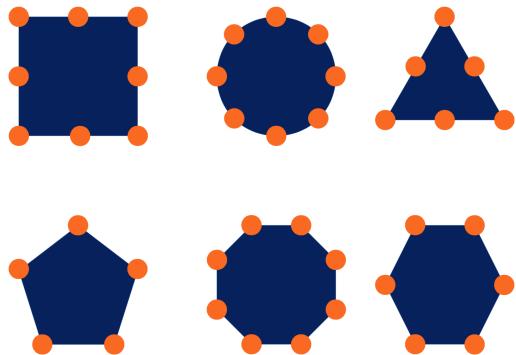


Abbildung C.1: Elementepool des neuen Markerdesigns

sind mit 5 LE einzustellen. Bei Verwendung des Dreiecks auf dessen Höhe achten.

Schritt 5: Siehe Schritt 3, allerdings nun für Ebene 2. Die Füllung der Elemente ist weiß. Deren Breite und Höhe sind 1,5 LE. Ggf. die Höhe des Dreiecks anpassen.

Schritt 6: Wahl des Elements für Ebene 3 aus dem bereits genannten Elementepool und Platzierung an Position X. Die Füllung ist transparent und der Umriss mit einer Breite von 6pt ist grau zu wählen. Breite und Höhe: 2,5 LE. Angepasste Höhe des Dreiecks berücksichtigen.

Schritt 7 (Optional): In den Ecken können jeweils Quadrate mit einer Seitenlänge von 3 Längeneinheiten erstellt werden. Zwei der vier Seiten überschneiden sich mit dem Umriss aus Schritt 1. In diesen Feldern können anlagenspezifische Informationen hinterlegt werden.

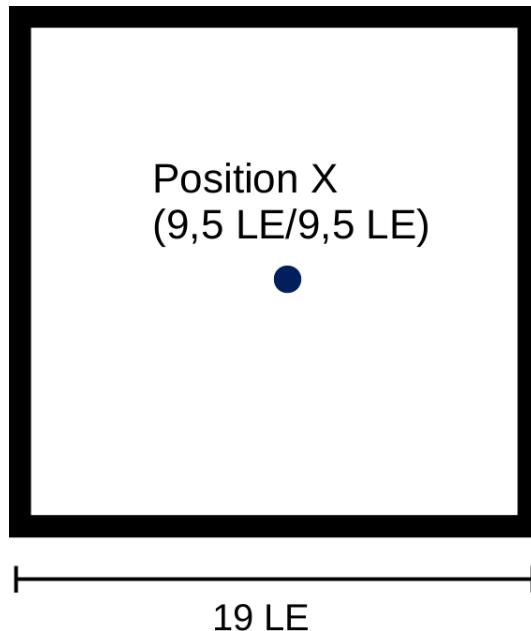


Abbildung C.2: Marker nach Schritt 1 mit Längeneinheiten und Mittelpunkt

Tabelle C.1: Umrechnungstabelle Breite zu Höhe in LE für den Spezialfall des gleichseitigen Dreiecks

Breite	Höhe: Exakt	Höhe: Gerundet
1.5	$\sqrt{1.6875}$	1.3
2.5	$\sqrt{4.6875}$	2.2
3	$\sqrt{6.75}$	2.6
5	$\sqrt{18.75}$	4.3
10	$\sqrt{75}$	8.7

D Studie zur Bewertung von altem und neuem Markerdesign

Um das neue Markerdesign mit dem alten angemessen vergleichen zu können, wurde eine Studie durchgeführt. Diese sollte herausfinden, ob die neuen Marker besser zu tracken sind, als die alten. Zum Einen sollte der minimale Abstand zwischen Marker und Tablet ermittelt werden, bis der Marker das erste Mal getrackt wird. Zum Anderen sollte der maximale Abstand ermittelt werden, bei dem der Marker durch den Tracker verloren wird. Dies wurde für unterschiedliche Winkel durchgeführt. An der Studie nahmen zwei Personen teil. Die erste Person war für die Bedienung des Tablets zuständig, während die zweite Person die Messungen durchführte. Die Marker wurden an einer Flipchart aufgehängt, die vor einer einheitlichen Wand in einem großen Raum positioniert wurde. Es sei auf [Abbildung D.1](#) und [Abbildung D.2](#) zur besseren Vorstellung des räumlichen Versuchsaufbaus verwiesen.

Um den minimalen Abstand zu bestimmen, wurde das Tablet auf der Brusthöhe langsam auf das Ziel zubewegt. Beim erstmaligen Erkennen des Markers blieb der Tragende stehen und die Position wurde markiert. Nach zehn Versuchen wurden dann jeweils die einzelnen Abstände durch den Markierenden mithilfe eines Zollstocks gemessen. Um den maximalen Abstand bis Trackingabbruch zu bestimmen, wurde das Tablet auf Brusthöhe nach erfolgreichem Tracking langsam zurückbewegt. Nach erstmaligem Verlust des Markers blieb der Tragende stehen und die Position wurde ebenfalls markiert. Nach zehn Versuchen wurden alle Abstände vermessen.

Diese Messungen wurden insgesamt für drei unterschiedliche Eintrittswinkel durchgeführt, wie in [Abbildung D.5](#) schematisch dargestellt wurde. Diese Messungen dienen vor allem dazu, die Umsetzung von [FAM2](#) zu bestätigen. Grundsätzlich sind die Resultate dieser Studie nur zur Bewertung des alten und neuen Markers zu gebrauchen. Sie erlauben keine Aussagen über den vollen Funktionsumfang des neuen Markerdesigns. In [Tabelle D.1](#) und [Tabelle D.2](#)

D Studie zur Bewertung von altem und neuem Markerdesign

sind alle einzelnen Messwerte, die Mittelwerte, die Konfidenzintervalle und die jeweiligen vollständigen Messergebnisse der Studie angegeben.



Abbildung D.1: Messmarkierungen, Versuchsaufbau und Zollstock bei einem Winkel von 0°



Abbildung D.2: Abmessung des Winkels von 45° mit Hilfe eines Bindfadens

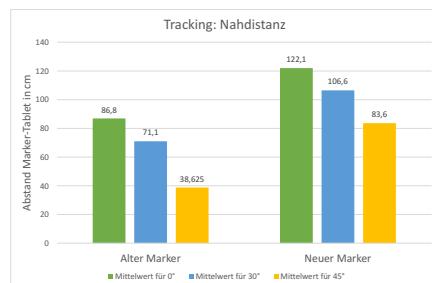


Abbildung D.3: Mittelwerte für die Nahdistanz im Vergleich

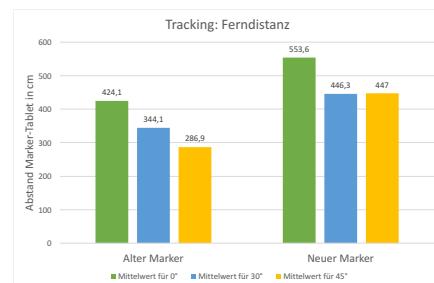


Abbildung D.4: Mittelwerte für die Ferndistanz im Vergleich

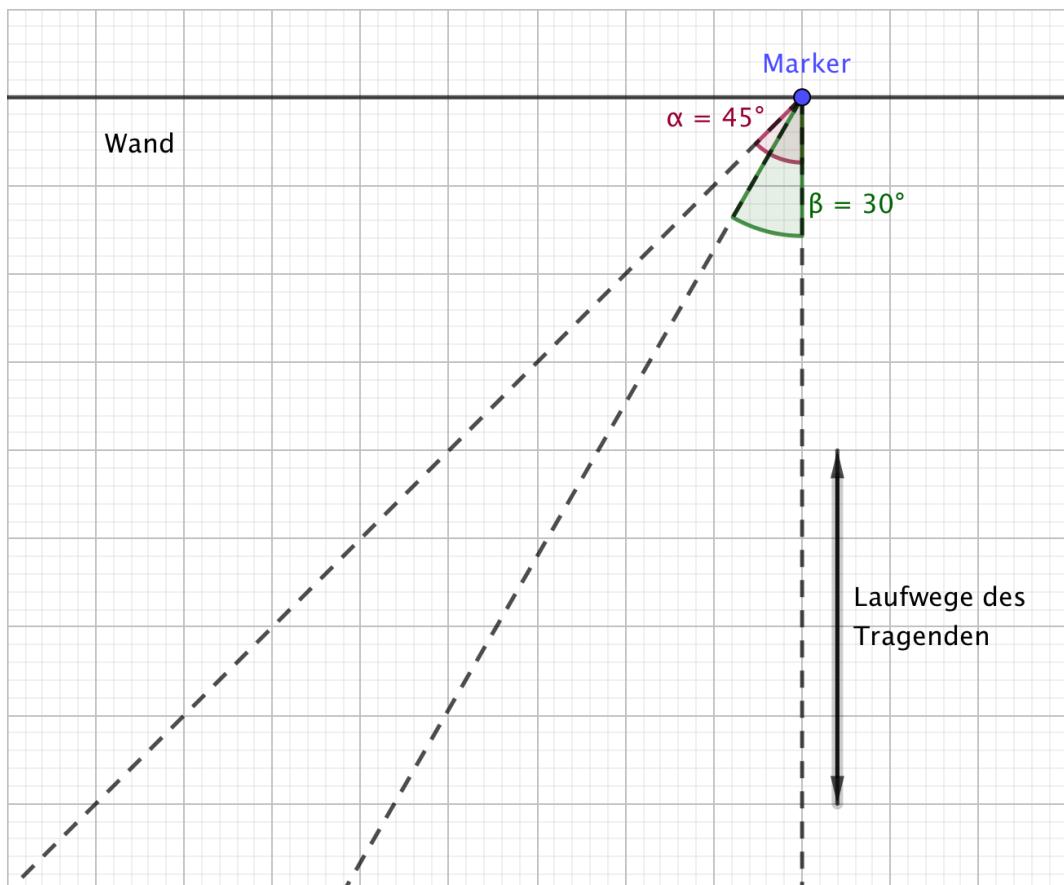


Abbildung D.5: Schematischer Aufbau der Studie

Tabelle D.1: Messwerte der alten Marker für unterschiedliche Versuche

Messung	min. Abstand bei 0° (in cm)	min. Abstand bei 30° (in cm)	min. Abstand bei 45° (in cm)
1	82	60	
2	85	70	
3	85	70	26
4	85	70	31
5	85	70	36
6	87	73	36
7	89	73	42
8	89	73	42
9	89	75	48
10	91	77	48
Mittelwert	88,6	77,1	36,625
Empir. Standardabweichung	2,936362073	4,581363213	7,836498854
Konfidenzintervall	2,099	3,274	5,601
Vollständiges Messergebnis	$88,6 \pm 2,099$	$77,1 \pm 3,274$	$36,625 \pm 5,601$
Messung	max. Abstand bei 0° (in cm)	max. Abstand bei 30° (in cm)	max. Abstand bei 45° (in cm)
1	213	230	107
2	271	235	173
3	288	240	185
4	412	267	234
5	444	312	287
6	492	339	336
7	513	349	350
8	522	380	370
9	531	462	370
10	555	627	457
Mittelwert	424,1	341,1	286,9
Empir. Standardabweichung	123,7061482	123,8300358	109,3703697
Konfidenzintervall	88,41	88,498	78,164
Vollständiges Messergebnis	$424,1 \pm 88,41$	$341,1 \pm 88,498$	$286,9 \pm 78,164$

Tabelle D.2: Messwerte der neuen Marker für unterschiedliche Versuche

Messung	min. Abstand bei 0° (in cm)	min. Abstand bei 30° (in cm)	min. Abstand bei 45° (in cm)
1	119	102	80
2	119	104	80
3	122	104	83
4	122	105	83
5	122	105	83
6	122	108	83
7	122	108	86
8	123	108	86
9	123	111	86
10	127	111	86
Mittelwert	122,1	106,6	83,6
Empir. Standardabweichung	2,233582076	3,062315754	2,366431913
Konfidenzintervall	1,596	2,189	1,691
Vollständiges Messergebnis	$122,1 \pm 1,596$	$106,6 \pm 2,189$	$83,6 \pm 1,691$
Messung	max. Abstand bei 0° (in cm)	max. Abstand bei 30° (in cm)	max. Abstand bei 45° (in cm)
1	458	363	332
2	505	385	390
3	509	411	393
4	509	436	415
5	534	436	439
6	546	441	455
7	563	460	470
8	596	479	487
9	644	486	535
10	672	566	554
Mittelwert	424,1	341,1	286,9
Empir. Standardabweichung	66,66533332	57,10039891	68,20231342
Konfidenzintervall	88,41	88,498	78,164
Vollständiges Messergebnis	$424,1 \pm 88,41$	$341,1 \pm 88,498$	$286,9 \pm 78,164$

E Visualisierung des Eingabefehlssatzes: Berührung

Aktuell existiert für die Applikation kein Tutorial, welches die unterschiedlichen Berührungsgesten vorstellt. Neben der textuellen Beschreibung in [Tabelle 4.1](#) sind an dieser Stelle schematische Darstellungen und eine etwas ausführlichere Erläuterung der einzelnen Interaktionen hinterlegt. Grundlegend läuft eine einzelne Touch-Interaktion wie folgt ab:

- 1: Finger auflegen
- 2: Geste ausführen
- 3: Finger abheben

Erst wenn der Finger abgehoben wurde, gilt die Interaktion als beendet und es folgt deren Auswertung.

Die Gesten zur Steuerung der vier Prozessgeräteklassen Heizung, Pumpe, Rührer und Ventil sind in [Abbildung E.1](#) bis [Abbildung E.4](#) dargestellt. Folgt der Finger den grünen Pfeilen wird das jeweilige Gerät eingeschaltet. Das Ausschalten erfolgt entlang des orangenen Pfeils. Das Verwerfen einer Auswahl von Prozessgeräten erfolgt über die Geste dargestellt in [Abbildung E.5](#). Die Pfeile in unterschiedliche Richtungen bedeuten, dass der Benutzende die einzelnen Striche des X in beliebiger Reihenfolge und Richtung zeichnen darf, solange das Symbol am Ende vollständig ist. Das Beenden der Applikation kann mithilfe einer Multitouch-Geste erfolgen. Dazu sind gleichzeitig 3 Finger von einem Punkt sternförmig auseinander zu führen bevor sie vom Bildschirm genommen werden. [Abbildung E.6](#) stellt diese Geste schematisch dar.

E Visualisierung des Eingabebefehlssatzes: Berührung

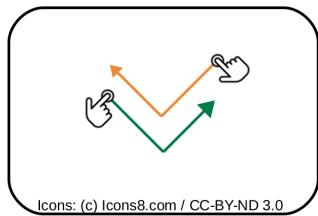


Abbildung E.1: Touch-Geste: *Steuerung Heizung*

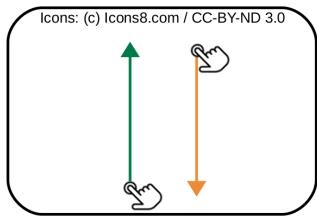


Abbildung E.2: Touch-Geste: *Steuerung Pumpe*

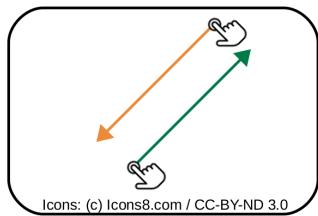


Abbildung E.3: Touch-Geste: *Steuerung Rührer*

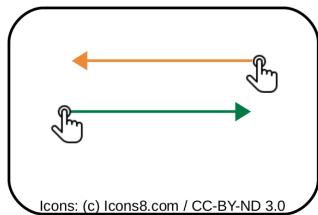


Abbildung E.4: Touch-Geste: *Steuerung Ventil*

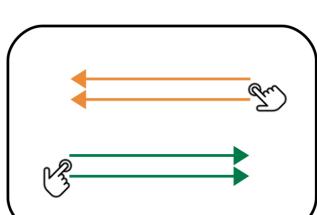


Abbildung E.5: Touch-Geste: *Szenenwechsel*

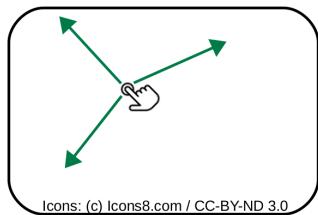


Abbildung E.6: Touch-Geste: *Applikation beenden*

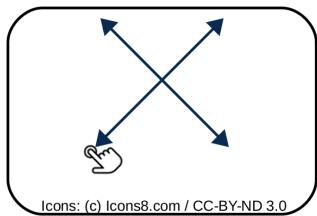


Abbildung E.7: Touch-Geste: *Abwahl mehrerer Elemente*

Literaturverzeichnis

- [Azu97] Ronald T. Azuma. *A Survey of Augmented Reality*. Techn. Ber. Hughes Research Laboratories, 1997 (siehe S. 6).
- [BS17] Bosch und Bosch Mobility Solutions. *neoSense is the touchscreen you can sense*. 2017. URL: <http://www.bosch-mobility-solutions.de/de/produkte-und-services/nutzfahrzeuge/human-machine-interface/anzeigensysteme/neosense/> (siehe S. 23).
- [Boc+13] Ulrich Bockholt, Folker Wientapper, Harald Wuest und Dieter Fellner. *Augmented-Reality-basierte Interaktion mit Smartphone-Systemen zur Unterstützung von Servicetechnikern - Markerlose Trackingverfahren zur Anwendung in Industrieszenarien*. Techn. Ber. Fraunhofer IGD, Technische Universität Darmstadt, 2013 (siehe S. 13).
- [Bur17] Dave Burke. *ARCore: Augmented reality at Android scale*. 2017. URL: <https://www.blog.google/products/google-vr/arcore-augmented-reality-android-scale/> (siehe S. 3).
- [Ducto] Pierre Ducher. *Interaction with augmented reality*. Techn. Ber. Human-Computer Interaction with Augmented Reality - volume 2, issue 4; p. 23-29. Universität Passau, Oktober 2014 (siehe S. 9).
- [Dud17] Der Duden. *Interaktion, die*. 2017. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Interaktion> (siehe S. 7).
- [Dör09] Randy Döring. *IMPLEMENTIERUNG, TRAINING UND VALIDIERUNG EINES GESTENKLASSIFIKATORS FÜR EIN INNOVATIVES EINGABEGERÄT*. Studienarbeit. 12.09.2011 (siehe S. 22).
- [Dö+13] Ralf Dörner, Wolfgang Broll, Paul Grimm und Bernhard Jung. *Virtual und Augmented Reality (VR/AR) - Grundlagen und Methoden*

- der Virtuellen und Augmentierten Realität.* Springer Vieweg, 2013 (siehe S. 1, 6, 7).
- [Fri17] Jürgen Frisch. *Wie die Hololens den Produktionsalltag eines Lackherstellers verändert.* 2017. URL: <http://www.process.vogel.de/wie-die-hololens-den-produktionsalltag-eines-lackherstellers-veraendert-a-579289/> (siehe S. 4).
- [Gei90] Georg Geiser. *Mensch-Maschine-Kommunikation.* Oldenbourg Verlag München, 1990 (siehe S. 19).
- [Ger+03] Björn Gerber, Christoph Heidelbach, Johannes Lorenz und Maximilian Mauthe. *3D Modellierung und Augmented Reality Systeme für die Anwendung in prozesstechnischen Anlagen.* Bericht. 3.03.2017 (siehe S. 15, 40, 47).
- [Gmb] Augmensys GmbH. *Vorteile on Click.* URL: <http://www.augmensys.com/de/ubik/vorteile-on-click> (siehe S. 3, 4).
- [Goo17] Google. *Tango.* 2017. URL: <https://get.google.com/tango/> (siehe S. 3, 10).
- [HK13] Masakazu Higuchi und Takashi Komuro. „AR Typing Interface for Mobile Devices“. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia.* MUM ’13. Luleå, Sweden: ACM, 2013, 14:1–14:8. ISBN: 978-1-4503-2648-3. DOI: [10.1145/2541831.2541847](https://doi.acm.org/10.1145/2541831.2541847). URL: <http://doi.acm.org/10.1145/2541831.2541847> (siehe S. 9).
- [HW12] Wolfgang Hürst und Casper van Wezel. *Gesture-based interaction via finger tracking for mobile augmented reality.* Techn. Ber. Multi-med Tools Appl (2013) 62:233–258. Springerlink.com, 2012 (siehe S. 9).
- [Hah+18] Anna Menschner (geb. Hahn), Stephan Hensel, Henry Bloch, Sebastian Heinze, Mario Hoernicke, Katharina Start, Leon Urbas, Alexander Fay, Axel Haller, Gerorg Lustig, Torsten Knohl und Jens Bernshausen. *Konzepte zur Gestaltung von nutzerzentrier-*

- ten Benutzerschnittstellen in der Modularen Prozessautomation. Techn. Ber. 2018 (siehe S. 56).
- [Hay+] Vincent Hayward, Oliver R. Astley, Manuel Cruz-Hernandez, Danny Grant und Gabriel Robles-De-La-Torre (siehe S. 23).
- [Inc17a] Apple Inc. *Introducing ARKit*. 2017. URL: <https://developer.apple.com/arkit/> (siehe S. 3).
- [Inc17b] Apple Inc. *Take Advantage of 3D Touch*. 2017. URL: <https://developer.apple.com/ios/3d-touch/> (siehe S. 23).
- [KP10] D.W.F. van Krevelen und R. Poelman. *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*. Techn. Ber. The International Journal of Virtual Reality, 2010, 9(2):1-20. Systems Engineering Section, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2010 (siehe S. 9, 10).
- [Kad17] Michael Kaden. „Farbregister“. In: *Das Corporate Design*. 2017, S. 101–109. URL: https://tu-dresden.de/intern/services-und-hilfe/ressourcen/dateien/kommunizieren_und_publizieren/corporate-design/cd-grundregeln/handbuecher-cd/handbuch_gesamt_2014.pdf?lang=de (siehe S. 34, 40, 49).
- [Klu14] Annette Kluge. *Controlling Complex Technical Systems: The Control Room Operator's Tasks in Process Industries*. Springer, 2014, S. 11–47. ISBN: 978-94-007-5048-7 (siehe S. 3).
- [Komi] Fachausschuss Mensch – Maschine – Kommunikation. *Prozessführung mit Bildschirmen - Begriffe*. Norm. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), Mai 2005 (siehe S. 7).
- [Komnu] Fachausschuss Mensch – Maschine – Kommunikation. *Prozessführung mit Bildschirmen - Grundlagen*. Norm. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), Januar 2014 (siehe S. 32).

- [Kud16] KudanAR. *What Makes a Good Marker?* 2016. URL: https://wiki.kudan.eu/What_Makes_a_Good_Marker%3F (siehe S. 13, 36).
- [Lot] Johann Christian Lotter. *Abzählbarkeit*. URL: <http://unendlich-es.net/german/index.htm?abzaehlbarkeit.htm> (siehe S. 54).
- [MBRS11] Anett Mehler-Bicher, Michael Reiß und Lothar Steiger. *Augmented Reality - Theorie und Praxis*. Oldenbourg Verlag München, 2011 (siehe S. 3, 6, 7, 9, 13).
- [Mic17] Microsoft. *Microsoft HoloLens*. 2017. URL: <https://www.microsoft.com/de-de/hololens> (siehe S. 3, 5).
- [Moo17] Brad Moon. *Apple Inc.'s (AAPL) ARKit Will Lead an AR Revolution*. 2017. URL: <https://investorplace.com/2017/06/apple-inc-aapl-stock-arkit-ar-ikea/> (siehe S. 1).
- [NKY05] Y. Nakazato, M. Kanbara und N. Yokoya. „Wearable augmented reality system using invisible visual markers and an IR camera“. In: *Ninth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'05)*. 2005, S. 198–199. DOI: [10.1109/ISWC.2005.55](https://doi.org/10.1109/ISWC.2005.55) (siehe S. 14).
- [PCB13] T. Piumsomboon, A. Clark und M. Billinghurst. „KITE: Platform for mobile Augmented Reality gaming and interaction using magnetic tracking and depth sensing“. In: *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. 2013, S. 289–290. DOI: [10.1109/ISMAR.2013.6671809](https://doi.org/10.1109/ISMAR.2013.6671809) (siehe S. 11).
- [PTDnt] Institut fuer Prozessleittechnik TU Dresden. *Interface Design 1: Gestaltung von Anzeigen und Eingabegeräten*. Website. Veröffentlicht in OPAL für Teilnehmer der VL MMST an der TU Dresden. Wintersemester 2016/2017 (siehe S. 13).
- [Piu+13] Thammathip Piumsomboon, Mark Billinghurst, Adrian Clark und Andy Cockburn. *User-Defined Gestures for Augmented Reality*. Techn. Ber. HIT Lab NZ-University of Canterbury und Department

- of Computer Science-University of Canterbury, 2013 (siehe S. 8, 22, 28, 57).
- [Pri15] By Drew Prindle. *Myo Gesture Control Armband review*. 2015. URL: <https://www.digitaltrends.com/pc-accessory-reviews/myo-gesture-control-armband-review/> (siehe S. 22).
- [SH16] Dieter Schmalstieg und Tobias Höllerer. *Augmented Reality - Principles and Practice*. Addison - Wesley, 2016 (siehe S. 6–8, 10, 12, 14, 22).
- [Tan+15] Tomohiro Tanikawa, Hidenori Uzuka, Takuji Narumi und Michitaka Hirose. „Integrated View-input Ar Interaction for Virtual Object Manipulation Using Tablets and Smartphones“. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*. ACE '15. Iskandar, Malaysia: ACM, 2015, 7:1–7:8. ISBN: 978-1-4503-3852-3. DOI: [10.1145/2832932.2832956](https://doi.acm.org/10.1145/2832932.2832956) (siehe S. 28).
- [Wob+09] Jacob O. Wobbrock, Meredith Ringel Morris und Andrew D. Wilson. *User-Defind Gestures for Surface Computing*. Techn. Ber. University of Washington und Microsoft Research, 2009 (siehe S. 30, 47, 50, 57).
- [ZDB08] Feng Zhou, Henry Been-Lirn Duh und Mark Billinghurst. „Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR“. In: *Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. ISMAR '08. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2008, S. 193–202. ISBN: 978-1-4244-2840-3. DOI: [10.1109/ISMAR.2008.4637362](https://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2008.4637362) (siehe S. 13).
- [Zie+12] Jens Ziegler, Randy Döring, Johannes Pfeffer und Leon Urbas. *Autonomous Dynamic Hand Gesture Recognition in Industial Settings*. Techn. Ber. 2012, S. 331–352 (siehe S. 22).

Literaturverzeichnis

- [pio17] t3n digital pioneers. *Ein Jahr Pokémon Go: Was AR-Firmen von der einstigen Hype-App lernen können.* 2017. URL: <http://t3n.de/news/pokemon-go-augmented-reality-lehren-836312/> (siehe S. 1).
- [sub] scuba.com. *Scuba Diver Underwater Hand Signal Images.* URL: <https://www.scuba.com/images/hand-signals/hand-signals.html> (siehe S. 22).

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Christoph Jesaja Heidelbach, geboren am 01.01.1992 in Kassel, dass ich die vorliegende Studienarbeit zum Thema

*Untersuchung von Interaktionsmechaniken in
Augmented-Reality-Anwendungen im Prozessumfeld*

ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

Dipl.-Ing. Sebastian Heinze, Dipl.-Ing. Markus Graube, Max Alexej Pötter

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Studienarbeit nicht beteiligt. Mir ist bekannt, dass die Nichteinhaltung dieser Erklärung zum nachträglichen Entzug des Diplomabschlusses (Masterabschlusses) führen kann.

Dresden, den 28.02.2018

.....

Unterschrift