

Diploma Thesis

# Development of an Augmented Reality Interface for Technical Building Equipment Inspection

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of  
Diplom-Ingenieurin  
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

DIPLOMARBEIT

## Entwicklung einer Augmented Reality Interface für TGA-Abnahme

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer  
Diplom-Ingenieurin  
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Bogna Haponiuk, B.Sc.**

Matr.Nr.: 01429754

unter der Anleitung von

Assistant Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz, M.Sc.**

Dipl.-Ing. **Harald Urban, B.Sc.**

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement  
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik  
Technische Universität Wien,  
Karlsplatz 13/234, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Februar 2020

---



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Kurzfassung

**Schlagwörter:** Augmented Reality, Bauaufsicht, BIM, Digitalisierung, Haustechnik, HKLS, IFC, Prozessanalyse, Prozessvisualisierung, ÖBA, TGA

Die Bauwirtschaft befindet sich im radikalen Transformationsprozess hin zu Digitalisierung und Vernetzung. Der Aufstieg neuer Technologien, wie z.B. Building Information Modeling (BIM), ist eine Chance für die Branche, die bestehenden Prozesse in allen Projektphasen neu zu gestalten - von der Ausschreibung über die Planung, die Ausführung bis hin zum Facility Management. Eine der Technologien mit dem größten Einflusspotential auf die Bauwirtschaft ist die Augmented Reality (AR, Erweiterte Realität). In dieser Diplomarbeit wird untersucht, wie diese Technologie bei der Inspektion und Abnahme der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) eingesetzt werden kann, um die bestehenden Abnahmeprozesse zu verbessern und zu beschleunigen. Die Diplomarbeit beginnt mit einer detaillierten Analyse der aktuellen Entwicklungstrends in der Bauwirtschaft und verfolgt das Ziel, AR in einem breiteren Kontext der digitalen Transformation zu präsentieren. Der Stand der Technik bei Soft- und Hardware sowie die einzuhaltenden Normen und gesetzlichen Vorschriften werden vorgestellt. Interviews mit Experten aus dem Bereich der Örtlichen Bauaufsicht (ÖBA) bilden die Grundlage für die Analyse des aktuellen Standes der Abnahme- und Inspektionsprozesse. Diese Prozesse werden in Workflow-Diagrammen mit Hilfe von Business Process Model and Notation (BPMN) dokumentiert. Die von den Interviewpartnern zur Verfügung gestellten Unterlagen haben die Entwicklung eines Klassifizierungssystems für Mängel, die am häufigsten bei der Installation der TGA auf einer Baustelle auftreten, ermöglicht. Das vorgeschlagene Klassifizierungssystem auf Basis des IFC-Standards kann direkt in ein AR-Tool zur Verbesserung der bestehenden Prozesse implementiert werden.

Der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit liegt auf der Analyse bestehender Prozesse und der konzeptionellen Gestaltung eines AR-basierten Tools für die Kontrolle und Abnahme der TGA. Der Entwurf folgt den Regeln des User Centered Design (UCD) und ist in mehrere Stufen unterteilt. Zuerst werden die Strategie und die Ziele des AR-basierten Tools ausgearbeitet. Anschließend werden diese Ziele in konkrete Funktionalitäten umgesetzt, die innerhalb des Tools vorhanden sein müssen. Schließlich werden die vorgeschlagenen Funktionen in einem Navigationsschema zusammengefasst und mit Hilfe von grafischen Mockups des Interfaces visualisiert. Die Mockups wurden in iterativen Feedbackrunden mit den Interviewpartnern verbessert.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Abstract

**Keywords:** Augmented Reality, building inspection, BIM, digitization, HVAC, IFC, process analysis, process modelling

The construction industry is undergoing a radical transformation towards digitization and interconnectedness. The rise of new technologies, such as Building Information Modeling (BIM), is an opportunity for the industry to redesign the existing processes in all project phases, from tendering to planning to execution to facility management.

One of the technologies with the highest potential for influencing the construction industry is Augmented Reality (AR). The objective of this diploma thesis is to analyze how this technology can be applied in the inspection and supervision of technical building equipment to improve and accelerate the existing inspection processes.

The diploma thesis begins with a detailed analysis of the current trends reshaping the construction industry and aims to present AR in a wider context of the digital transformation. The state of the art solutions, both in the terms of software and hardware, are presented along with the codes and legal regulations that need to be complied with.

Interviews with experts from the field of construction supervision build a basis for analyzing the status quo of supervision and inspection processes. These processes are documented in workflow diagrams with the use of Business Process Model and Notation (BPMN).

Documentation supplied by the interview partners allowed for creating a classification system for most common defects occurring during the installation of technical building equipment on a building site. The proposed classification system based on the IFC standard can be directly implemented in any AR-based solution for improving the existing processes.

The main part of this diploma thesis is dedicated to the analysis of existing processes and the conceptual design of an AR-based tool for technical building equipment inspection and supervision. The design follows the rules of User Centered Design (UCD) and is split into multiple stages. First, the strategy and objectives of the AR-based tool are elaborated upon. Then, these objectives are translated into concrete functionalities that need to be supplemented within the tool. Lastly, the proposed features are put together in a navigation scheme and visualized using graphical mockups of the tool's interface. The mockups were improved during iterative feedback rounds with interview partners.

The interface of the AR-based tool binds together all of the results of this diploma thesis. The proposed solution can be integrated seamlessly into the existing supervision processes, and the defect classification system can be implemented in the AR-based tool to provide the user with relevant suggestions.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Genderhinweis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Forschungsmethodik.....	2
1.2.1	Forschungsmethode und -werkzeuge.....	2
1.2.2	Forschungsabgrenzung.....	3
1.2.3	Forschungsfragen.....	3
1.3	Aufbau der Diplomarbeit.....	3
1.4	Abkürzungsverzeichnis.....	5
2	Grundlagen.....	7
2.1	Begriffsbestimmungen.....	7
2.1.1	Begriffe der Qualitätssicherung.....	7
2.1.2	BIM Begriffe.....	8
2.1.3	Augmented Reality (AR).....	9
2.1.4	Begriffe des App-Designs.....	10
2.2	Digitalisierung im Bauwesen.....	11
2.3	Anwendungsanalyse von AR in Bauwesen.....	12
2.4	Stand der Technik von AR.....	15
2.4.1	AR-Hardware: DAQRI Smart Glasses.....	17
2.4.2	AR-BIM bidirektionaler Datenaustausch.....	18
2.5	User Experience Design.....	21
2.6	Normen und Vorgaben für die TGA-Abnahme.....	21
2.6.1	ÖNORM B 2110, Abschnitt 10: Übernahme.....	22
2.6.2	LB-Haustechnik – Version 07.....	22
2.6.3	ÖNORM EN 12599: raumlufttechnische Anlagen.....	24
2.6.4	ÖNORM EN 14336: Heizungswasser.....	26
2.6.5	ÖNORM B 5019: Trinkwasser-Erwärmungsanlagen.....	26
2.6.6	OVE E 8101: Elektrische Niederspannungsanlagen.....	27
2.7	Building Process Model and Notation (BPMN).....	29

3	TGA-Abnahme Workflows.....	31
3.1	Forschungsinstrument: leitfadengesteuerte Interviews.....	31
3.1.1	Forschungsinstrumentbeschreibung.....	31
3.1.2	Anwendung des Forschungsinstruments .....	32
3.2	Prozessdarstellung.....	33
3.2.1	Laufende Qualitätssicherung: Variante 1.....	33
3.2.2	Laufende Qualitätssicherung: Variante 2.....	35
3.2.3	Förmliche Abnahme.....	37
3.3	Zusätzliche Anmerkungen .....	38
4	Mängelklassifizierung in der TGA.....	41
4.1	Methode der Mängelklassifizierung.....	41
4.2	Elementenklassifizierung nach IFC-4.....	42
4.2.1	IfcDistributionElement .....	42
4.2.2	IfcDistributionControlElement.....	43
4.2.3	IfcDistributionFlowElement.....	43
4.2.4	IfcBuildingElementProxy.....	43
4.3	Mängelklassifizierung – grobe Unterteilung.....	44
4.4	Mängelklassifizierung – feine Unterteilung .....	46
5	Strategie und funktionale Anforderungen .....	49
5.1	Strategie.....	49
5.2	Funktionale Anforderungen.....	51
6	Navigationsschema.....	53
7	Interface-Mockups .....	55
7.1	Grafische Mockups .....	55
7.1.1	Startmenü (M1) .....	55
7.1.2	Hauptmenü (M2).....	56
7.1.3	Bauteilmenu (M2.9).....	59
7.1.4	Mängelliste (M 2.9.2).....	60
7.1.5	Mangeleingabe (M2.9.3).....	61
7.2	Layering.....	62
8	Forschungsergebnisse.....	67
8.1	Beantwortung der Forschungsfragen .....	67
8.2	Ausblick .....	69
9	Literaturverzeichnis.....	71

9.1	Bücher, Artikel .....	71
9.2	Online-Quellen .....	73
Anhang A: Interviewleitfaden .....		75
Anhang B: Besprechungsprotokolle .....		77
Anhang C: Workflow-Diagramme .....		79
Anhang D: Häufigste Mängel nach Elementtyp .....		85
Anhang E: Feine Unterteilung von Mängeln .....		89



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Genderhinweis

Die Herausgeberin legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung des jeweils anderen Geschlechts.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# 1 Einleitung

Im folgenden Abschnitt werden zunächst das Ziel der Arbeit und die persönliche Motivation erläutert. Im Anschluss werden die Forschungsfragen sowie die verwendete Methodik behandelt und die Struktur der Diplomarbeit dargelegt.

## 1.1 Motivation

Die Bauindustrie befindet sich in einer fundamentalen Transformationsphase: eine Umwandlung von geschlossenen, meist analogen Prozessen hin zu Digitalisierung, Offenheit, und Vernetzung. Die sich schnell entwickelnden neuen Technologien wie Building Information Modeling (BIM) oder die sogenannte „Baustelle 4.0“ bieten der Branche eine große Chance, die bestehenden Prozesse in allen Projektphasen, von der Ausschreibung über die Planung und Ausführung bis hin zum Facility Management, zu verbessern und stark zu verändern.

Trotz der technologischen Entwicklung bleiben die Qualitätskontrolle und die Mängelidentifikation auf der Baustelle weitgehend manuell. Die Erkennung von Planungsabweichungen basiert auf dem Vergleich des Ist-Zustandes mit den Plänen in Papierform oder auf einem Tablet. Dieser Prozess wird bei komplexen Systemen immer aufwendiger. Steigende Anforderungen an die Gebäudequalität erfordern aber ein besseres und effizienteres Qualitätsmanagement. Die Qualitätskontrolle der TGA ist aufgrund ihrer zunehmenden Bedeutung und der damit verbundenen Kosten ein spezieller Fall. Aus diesem Grund wird ein verbessertes System zur Qualitätssicherung und zur Abnahme der TGA einen großen Einfluss auf den gesamten Bauprozess haben. Die Erstellung eines solchen Systems muss so praxisnah wie möglich erfolgen, um eine optimale User Experience zu gewährleisten.

Die Entwicklung im Bereich von Augmented Reality hat das Potential, bei der Qualitätssicherung und der Abnahme auf der Baustelle anwendbar zu sein. Um dieses Potential zu analysieren und den effektivsten Einsatz von AR zu finden, hat sich der Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik des Instituts für interdisziplinäres Bauprozessmanagement an der TU Wien für die Zusammenarbeit mit mehreren Partnern im Rahmen des Forschungsprojekts *Einsatz von Augmented Reality zur Abnahme und Qualitätssicherung auf Baustellen*<sup>1</sup> entschieden. Ziel des Projektes ist es, aus der Expertise und den unterschiedlichen Perspektiven der Partner (sowohl aus der Baubranche als auch aus der Informatik) ein baustellentaugliches Augmented Reality (AR)-Tool konzeptionell zu gestalten, welches den Prozess der Abnahme von technischen Gebäudeausrüstungs-Systemen (TGA) effizienter und weniger fehleranfällig macht. Die Diplomarbeit wird im Rahmen dieses Projekts erarbeitet und hat mehrere Ziele. Das erste Ziel ist die Analyse der Anforderungen an ein solches Augmented Reality (AR)-Tool, damit es für die Experten aus der Industrie möglichst wertschaffend ist (hier steht die User Experience stark im Vordergrund). Dabei wird der bestehende Prozess der TGA-Abnahme analysiert und die möglichen Verbesserungen ermittelt, die mittels AR eingeführt werden können. Darüber hinaus

---

<sup>1</sup> vgl. Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien: *AR-AQ-BAU*.  
URL: <https://www.ibb.tuwien.ac.at/zdb2/ar-aq-bau/> (Zugriff am 13.10.2019)

zielt diese Diplomarbeit darauf ab, Mockups einer User-Interface für dieses AR-Tool vorzubereiten und vorzuschlagen. Diese Mockups beinhalten nicht nur die auf der Grundlage der durchgeführten Analyse gewählten Funktionalitäten, sondern auch eine Liste der häufigsten Mängeln in der TGA, die in das zu entwickelnde AR-Tool importiert werden kann.

## 1.2 Forschungsmethodik

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Methoden, die bei der Erstellung der Arbeit verwendet werden. Zudem werden hier Forschungsabgrenzung behandelt und die Forschungsfragen vorgestellt.

### 1.2.1 Forschungsmethode und -werkzeuge

Die Literaturrecherche bildet die Grundlage dieser Arbeit. Für die angeführten Ziele, die Ermittlung des Ist-Prozesses und der User Experience reicht aber reine Fachliteratur nicht aus. Als Basis für diese Diplomarbeit dienen Interviews mit Experten aus der Bauindustrie, die ihre Perspektive und praktische Erfahrung im Prozess der TGA-Abnahme dargelegt haben. Diese Experten sind Mitarbeiter, die in der Örtlichen Bauaufsicht (ÖBA) arbeiten und die Ausführung der Heizungs-, Klima-, Lüftungs-, Sanitär- (HKLS) oder Elektroinstallationen überwachen. Auf Basis dieser Interviews werden Prozessgrafiken zu den aktuellen Arbeitsabläufen im TGA-Abnahme-Prozess erstellt und mehrfach mit den Interviewpartnern besprochen. Zusätzlich werden auf die zur Verfügung gestellten Mängellisten als Grundlage genutzt, um eine Liste der häufigsten Mängel zu erstellen und ein Klassifikationssystem vorzuschlagen. Das User Interface des AR-Tools wird durch Mockups dargestellt, die durch eine detaillierte Analyse der Arbeitsabläufe und der während der Interviews gesammelten Informationen entstehen. Die Mockups werden aufgrund von nachfolgenden Konsultationen mit den Befragten iterativ verbessert.

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die Forschungsmethodik:

- Input
  - Literaturrecherche
  - Leitfadengesteuerte Interviews
- Output
  - Workflow-Diagramme des TGA-Abnahme-Prozesses
  - Liste der häufigsten Mängel
  - Mängelklassifikationssystem
  - Grafische Mockups des User Interface
  - Beantwortung der Forschungsfragen

## 1.2.2 Forschungsabgrenzung

Die unten aufgelisteten Aspekte werden in dieser Arbeit nicht behandelt.

### **Machbarkeitsstudie**

In dieser Diplomarbeit wird AR als eine Möglichkeit zur Verbesserung des Prozesses der TGA-Abnahme untersucht. Dennoch könnte es sinnvoll sein, eine Auswertung und einen Vergleich mit Alternativen zu AR zu erstellen, um zu prüfen, ob die Verwendung von AR in diesem Fall die vorteilhafteste Vorgehensweise ist.

### **Softwareentwicklung des AR-Tools**

Diese Arbeit dient als Analyse der Benutzeranforderungen an das zu entwickelnde AR-Tool. Die Softwareentwicklung selbst ist aber kein Bestandteil dieser Arbeit, die lediglich als Grundlage für eine mögliche Softwareentwicklung dient.

### **Internationale Perspektive**

Die Diplomarbeit wurde in Österreich durchgeführt, ist repräsentativ für die Besonderheiten der Branche in der Region DACH und konzentriert sich auf die AR-Hardware der Firma DAQRI.

## 1.2.3 Forschungsfragen

Die nachfolgend aufgeführten Forschungsfragen ergeben sich aus der Motivation und den Zielen dieser Diplomarbeit. Diese Ziele wurden im Abschnitt 1.1 erläutert.

- (1) Wie schauen die derzeitigen Prozesse bei der Kontrolle und Abnahme von TGA-Leistungen auf der Baustelle aus?
- (2) Was sind die häufigsten Mängel bei der TGA-Abnahme und wie können diese im Hinblick einer AR-Abnahme klassifiziert werden?
- (3) User Experience: Welche Funktionalitäten sind bezüglich Effizienz und Effektivität des Abnahme-Prozesses im AR-Tool gefordert?
- (4) Wie können diese Funktionalitäten in einem User Interface am effektivsten zusammengestellt werden?

## 1.3 Aufbau der Diplomarbeit

Im Kapitel 2 werden die fachlichen Begriffe erklärt, die in der gesamten Arbeit verwendet werden, und die Gesamtperspektive der technischen Entwicklung in der Baubranche vorgestellt. Darüber hinaus wird der Entwicklungsprozess einer User Experience erläutert, da er die Grundlage für die Struktur dieser Arbeit bildet. Kapitel 3 analysiert die derzeitigen Arbeitsabläufe in der TGA-Abnahme. Basierend auf den Experten-Interviews aus der Praxis werden Prozessdiagramme erstellt und beschrieben. Kapitel 4 beschäftigt sich mit den Mängeln in der TGA; es wird eine detaillierte Übersicht über die häufigsten Mängel erstellt und ein Klassifikationssystem vorgeschlagen.

Das Ziel der Kapitel 5 bis 7 der Diplomarbeit ist es, Mockups des AR-Tools vorzubereiten. Der Prozess der Gestaltung von Mockups verfolgt genau den Entwicklungsprozess der User Experience von Garret<sup>2</sup> (siehe Abschnitt 2.5). Kapitel 5 befasst sich mit der Gesamtstrategie und den Zielen des zu entwickelnden AR-Tools. Diese Strategie wird dann in funktionale Anforderungen umgesetzt, die das AR-Tool erfüllen muss. In Kapitel 6 werden diese Anforderungen in Form eines Navigationsschemas, das die interne Struktur des Tools veranschaulicht, zusammengefasst. Abschließend visualisiert Kapitel 7 die Anforderungen und die Navigationsstruktur in Form von grafischen Mockups der User Interface. Kapitel 8 fasst die Forschungsergebnisse zusammen und zeigt einen Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf. Die Struktur der Diplomarbeit wird in Abbildung 1 veranschaulicht.

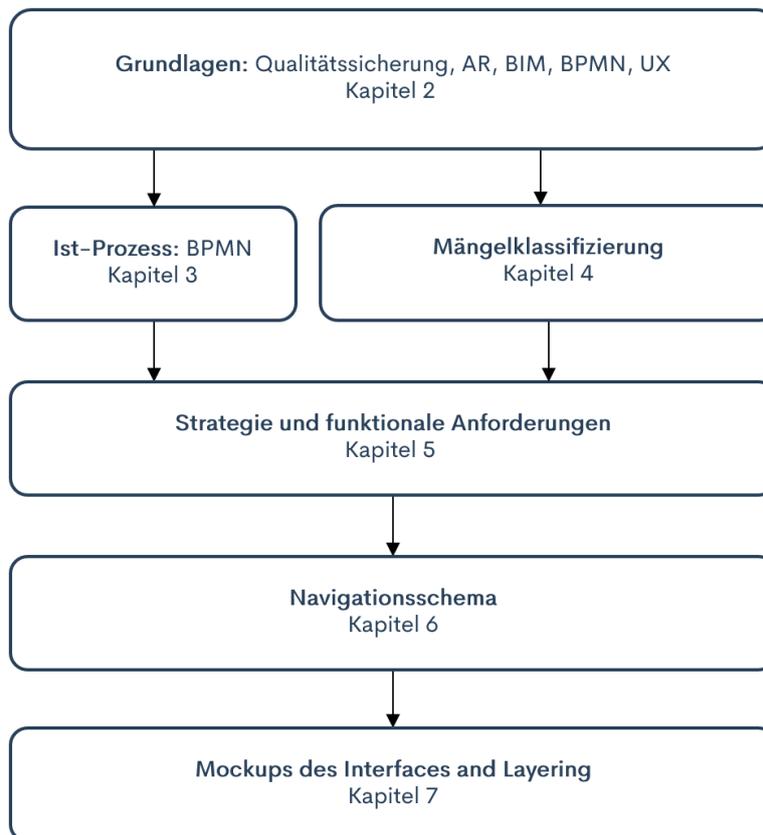


Abbildung 1. Aufbau der Diplomarbeit

---

<sup>2</sup> vgl. Garret, J.: *The Elements of User Experience*. New Riders, 2003.

## 1.4 Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BCF	BIM Collaboration Format
BPMN	Business Process Model and Notation
HKLS	Heizung, Klima, Lüftung, Sanitär
HMD	Head-Mounted Display
IFC	Industry Foundation Classes
KI	Künstliche Intelligenz
LB-HT	Leistungsbeschreibung Haustechnik
LV	Leistungsverzeichnis
MSRL-Technik	Mess-, Steuer-, Regel- und Leittechnik
ÖBA	Örtliche Bauaufsicht
SiGe-Plan	Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
UCD	User Centered Design
UI	User Interface
UX	User Experience
VR	Virtual Reality
WKÖ	Wirtschaftskammer Österreich
WV	Werkvertrag
XML	eXtensible Markup Language



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 2 Grundlagen

Dieser Abschnitt erläutert die grundlegenden fachlichen Begriffe und Ausdrücke im Bereich Qualitätssicherung, BIM, AR und App-Design, die in dieser Arbeit verwendet werden. Danach wird das Thema in eine breitere Perspektive gestellt, um zu zeigen, dass es zu den wichtigsten Trends im Transformationsprozess der Bauwirtschaft gehört. Dieser Abschnitt befasst sich auch mit den Themen, die die Rahmenbedingungen für das zu analysierende AR-Tool bilden. Die erste dieser Bedingungen ist der Stand der Technik und die Grenzen der technologischen Möglichkeiten. Die zweite ist das User Experience Design, das bei der Erstellung von Mockups berücksichtigt werden muss. Das App-Design ist für diese Arbeit von besonderer Bedeutung, weil der gesamte Prozess, der zur Erstellung von User-Interface-Mockups führt, den Regeln des User-Centered-Designs entspricht. Abschließend werden sowohl die Normen und Richtlinien im Abnahme-Prozess als auch die Business Process Model and Notation (BPMN) erläutert.

### 2.1 Begriffsbestimmungen

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Begriffe definiert und erläutert. Die Thematik umfasst die Qualitätssicherung auf der Baustelle, AR, BIM und App-Design.

#### 2.1.1 Begriffe der Qualitätssicherung

##### Örtliche Bauaufsicht (ÖBA)

Der Leitfaden der Wirtschaftskammer Österreich (WKÖ)<sup>3</sup> definiert die Aufgaben von ÖBA:

*„Die Örtliche Bauaufsicht umfasst die Leistungen der Bauüberwachung & Koordination, Termin- & Kostenverfolgung, Qualitätskontrolle, Rechnungsprüfung, Bearbeitung von Mehr- & Minderkostenforderungen, Übernahme & Abnahmen, Mängelfeststellung & -bearbeitung sowie die Dokumentation in den Phasen der Ausführungsvorbereitung, der Ausführung und des Projektabschlusses.“*

Darüber hinaus legt das gleiche Dokument fest: Bei komplexen Projekten *„ist es zweckmäßig, eine eigene Örtliche Bauaufsicht für den Bereich Haustechnik, Elektro bzw. maschinentechnische Ausrüstung zu beauftragen.“* Diese Diplomarbeit betrachtet diese Art von Projekten als Grundlage für ihre Arbeit.

##### Abnahme

Abnahme ist ein Begriff, der nicht in den Normen definiert ist, aber in der Praxis häufig verwendet wird. Laut Kropik<sup>4</sup> bezeichnet der Begriff „Abnahme“ jede Überprüfung der ordnungsgemäßen Leistungserbringung; wobei die Durchführung einer Abnahme nicht zum Beginn der Gewährleistungsfrist führt.

<sup>3</sup> Wirtschaftskammer Österreich [Hrsg.] Stempkowski R., Waldauer E., Huber C.: *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementleistungen, Band 3. ÖBA*. 3. Auflage, Wien 2018

<sup>4</sup> vgl. Kropik, A.: *Der Bauvertrag und die ÖNORM 2010*. Austrian Standards plus, Wien 2009.

### **Abnahmeprüfung**

Abnahmeprüfung wird laut Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)<sup>5</sup> definiert als die „*technische (auch sicherheitstechnische) Prüfung einer fertig installierten Anlage auf vertrags- und bestimmungsgemäße Ausführung. Sie umfasst Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung und Funktionsmessung.*“

### **Bauschäden**

BBR<sup>6</sup> definiert Bauschäden als „*Veränderungen des technischen Zustandes oder der Eigenschaften von Bauwerken bzw. von Bauteilen, die die technische Tauglichkeit beeinträchtigen.*“

### **Baumängel**

Laut BBR<sup>6</sup> stellt ein Baumangel den „*fehlerhaften Zustand eines Gebäudes bzw. eines Bauteils dar, in dessen Folge der Wert oder die Funktionstüchtigkeit vermindert oder aufgehoben wird, die zugesicherten Eigenschaften nicht gewährleistet sind oder ein Verstoß gegen allgemein anerkannte Regeln der Technik vorliegt.*“ Nicht jeder Mangel führt zu einem Schaden. Mängel werden bei der Endübernahme erkannt und erfasst. In dieser Diplomarbeit wird der Begriff Mangel auch verwendet, um die von ÖBA während der Abnahme festgestellten Fehler zu beschreiben, die vor der Endübernahme behoben werden.

## **2.1.2 BIM Begriffe**

### **Building Information Modeling (BIM)**

Seit dem ersten Auftreten des Begriffs BIM in den 80er Jahren hat die Fachliteratur mehrere Definitionen vorgeschlagen. Eine der anerkanntesten Definitionen, die von buildingSMART<sup>7</sup> formuliert wird, sagt, dass BIM eine „*digitale Darstellung der physikalischen und funktionalen Eigenschaften einer Einrichtung*“ ist. Als solche dient BIM als eine gemeinsame Wissensressource für Informationen über eine Einrichtung, die eine zuverlässige Grundlage für Entscheidungen während ihres Lebenszyklus von Anfang an bildet. Eine Grundprämisse von BIM ist die Zusammenarbeit verschiedener Interessengruppen in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus einer Einrichtung, um Informationen in den BIM-Prozess einzufügen, zu extrahieren, zu aktualisieren oder zu modifizieren, um die Rollen dieser Interessengruppen zu unterstützen und zu reflektieren. BIM ist eine gemeinsame digitale Darstellung, die auf offenen Standards für Interoperabilität basiert.

---

<sup>5</sup> Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort: *Standardisierte Leistungsbeschreibung für die Haustechnik (LB-HT)*. Version 07, 2005. LG 92: Abnahmeprüfungen.

<sup>6</sup> Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): *Dialog Bauqualität – Endbericht*. Bearbeitung: Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. Berlin, 2002.

<sup>7</sup> National Institute of Building Sciences: *National BIM Standard – United States*.

URL: <http://www.nationalbimstandard.org/> (Zugriff am 13.10.2019)

### BIM Collaboration Format (BCF)

Laut buildingSMART<sup>8</sup> ist das BIM Collaboration Format (BCF) ein offenes XML-Datei-Format „bcFXML“, das die Workflow-Kommunikation in BIM-Prozessen unterstützt. Die Stärken dieses Formats liegen laut BIMCollab<sup>9</sup> in der Möglichkeit des Hinzufügens von Textkommentaren und Screenshots auf der Modellschicht. Es verbessert die Kommunikation zwischen den koordinierenden Parteien und trennt die Kommunikation vom eigentlichen Modell.

### Industry Foundation Classes (IFC)

Industry Foundation Classes (IFC) ist das offene und neutrale Datenformat für openBIM, das von der internationalen non-profit Organisation buildingSMART<sup>10</sup> entwickelt wird. Es handelt sich um ein objektorientiertes Datenschema, das Klassen von Objekten definiert (z.B. Bauelemente, Räume, Eigenschaften, Formen etc.). Diese Klassen werden von verschiedenen Softwareanwendungen verwendet, die in Bau- oder Facility-Management-Projekten eingesetzt werden. Mit IFC wird ein offener Informationsaustausch zwischen vielen verschiedenen Softwaresystemen ermöglicht. Es ist bei der ISO als ISO 16739<sup>11</sup> registriert.

### 2.1.3 Augmented Reality (AR)

Augmented Reality ist eine Technologie, durch die ein computergeneriertes Bild generiert wird, welches die reale Welt überlagert und so eine zusammengesetzte Sicht bietet. Nach Ronald T. Azuma<sup>12</sup> sind die folgenden drei Parameter erforderlich für die Qualifizierung einer Technologie oder einer Erfahrung als AR:

- Kombiniert real und virtuell: AR ergänzt die Realität, anstatt sie vollständig zu ersetzen. Im Idealfall erscheint es dem Benutzer, dass die virtuellen und realen Objekte im gleichen Raum koexistierten.
- Interaktiv in Echtzeit: Durch dieser Regel werden Filmanimationen ausgeschlossen.
- In 3D registriert: Diese Regel unterscheidet AR von einfachen Head-Up-Displays, die einfach Daten oder Informationen in das Sichtfeld stellen.

Laut Milgram und Kishino<sup>13</sup> liegt AR in einem Spektrum zwischen Realität (Real Environment) und digitaler, virtueller Realität (Virtual Reality, VR), wie in der Abbildung 2 dargestellt.

<sup>8</sup> vgl. buildingSMART: *Specifications – BCF releases*.

URL: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/bcf-releases/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>9</sup> vgl. BIMCollab: *About BCF*. URL: <https://www.bimcollab.com/en/BIM/OpenBIM/BCF/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>10</sup> vgl. buildingSMART: *Home - buildingSMART Technical*. URL: <http://www.buildingsmart-tech.org/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>11</sup> vgl. International Organization for Standardization: *ISO 16739-1:2018*.

URL: <https://www.iso.org/standard/70303.html> (Zugriff am 24.01.2020)

<sup>12</sup> vgl. Azuma, R.T.: *A Survey of Augmented Reality*. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4, 1997, S. 355–385.

<sup>13</sup> vgl. Milgram P., Kishino F.: *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. In: IEICE Trans. Information Systems E77-D, no. 12, 1994, S. 1321- 1329.

Vollständig reale und vollständig virtuelle Umgebungen sind die Extremfälle dieses Spektrums.

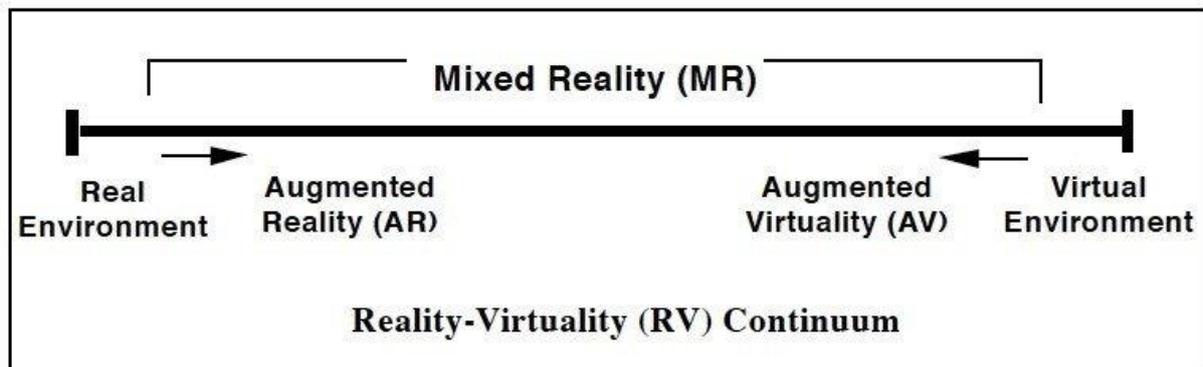


Abbildung 2. Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum<sup>14</sup>

Virtual Reality ist eine interaktive 3D-Darstellung einer virtuellen, computergenerierten Welt. Im Unterschied dazu liegt Augmented Reality näher an der realen Umgebung und wird daher als Erweiterung der Realität um zusätzliche virtuelle Informationen bezeichnet. Der Oberbegriff Mixed Reality beschreibt alle Realitäten, in denen das Reale und das Virtuelle überlagert sind (sowohl Augmented Reality als auch Augmented Virtuality).

#### 2.1.4 Begriffe des App-Designs

##### Mockup

Ein Mockup ist ein Begriff, der im Softwaredesign verwendet wird. Im Artikel *Wireframes Vs Mockups: what's the best option?*<sup>15</sup> ist Mockup als ein statischer visueller Entwurf definiert, der verwendet wird, um die Struktur von Informationen darzustellen, den Inhalt zu visualisieren und die grundlegenden Funktionalitäten auf statische Weise zu demonstrieren. Es kann relativ schnell erstellt werden, um Ideen zu organisieren. Es hat eine ausreichend visuelle Qualität, um dem Betrachter einen realistischeren Eindruck von der zu entwickelnden Software zu vermitteln. Mockups werden in der Regel verwendet, um von den Stakeholdern Feedback über das Softwareentwicklungsprojekt zu erhalten.

##### User Centered Design (UCD)

UCD ist ein Begriff zur Beschreibung von Designprozessen, in denen Endbenutzer beeinflussen, wie ein Entwurf entwickelt wird. Laut Abras<sup>16</sup> konsultieren einige Arten von UCDs Benutzer über ihre Bedürfnisse und beziehen sie zu bestimmten Zeiten während des Designprozesses ein. Bei anderen UCD-Methoden haben Benutzer einen großen Einfluss auf das Design, indem sie während des gesamten Designprozesses als Partner mit Designern zusammenarbeiten.

<sup>14</sup> Milgram P., Kishino F.: *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*.

<sup>15</sup> vgl. Just in Mind: *Wireframes Vs Mockups: what's the best option?*

URL: <https://www.justinmind.com/blog/wireframes-and-mockups-whats-the-best-option/>  
(Zugriff am 13.10.2019)

<sup>16</sup> vgl. Abras C., Maloney-Krichmar D., Preece J.: *User-Centered Design*. In: Bainbridge, W. *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Thousand Oaks: Sage Publications, 2004.

### User Experience (UX)

Hierbei handelt es sich um einen allgemeinen Begriff, der alle Aspekte der Teilnahme eines Benutzers bei der Arbeit mit einem Produkt umfasst. Im Bereich des digitalen Designs bezieht sich dieser Begriff nach dem Artikel *User Experience*<sup>17</sup> auf die Interaktionen, Reaktionen, Emotionen und Wahrnehmungen bei der Nutzung einer App, eines Services, einer Website oder eines Produkts.

### User Interface (UI)

Der Artikel *User Interface*<sup>18</sup> definiert User Interface als eine Verbindung zwischen menschlicher und computergestützter Interaktion – der Raum, in dem ein Benutzer mit einem Computer oder einer Maschine interagiert, um Aufgaben zu erledigen. Der Zweck vom Interface ist es, einem Benutzer zu ermöglichen, ein Gerät effektiv zu steuern und Rückmeldungen zu empfangen. Eine erfolgreiche Benutzeroberfläche sollte intuitiv (keine Schulung zur Bedienung erforderlich), effizient (keine zusätzliche oder unnötige Reibung erzeugen) und benutzerfreundlich (angenehm zu bedienen) sein.

## 2.2 Digitalisierung im Bauwesen

Laut eines Berichtes von Accenture<sup>19</sup> aus dem Jahr 2016 ist die Bauwirtschaft neben der Chemie und der Industrie Rohstoffe und Ressourcen eine der drei am wenigsten digitalisierten Branchen. Obwohl nach der Studie von Roland Berger<sup>20</sup> 93 % der Akteure in der Bauindustrie der Meinung sind, dass die Digitalisierung die Gesamtheit der Prozesse beeinflussen wird, nutzen nur 29 % von ihnen BIM als 3D-Modell des geplanten Gebäudes und nur 6 % 4D-BIM, das auch die Zeit als vierte Dimension beinhaltet. Auch wenn der Digitalisierungsgrad gering ist, bewegt sich die Bauindustrie in Richtung des digitalen Arbeitens. Viele der neuesten Technologien werden von den Early Adopters<sup>21</sup> übernommen und entwickelt. Basierend auf der Studie *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*<sup>22</sup> werden anschließend die für die Abnahme auf der Baustelle relevantesten Trends und Potentiale beschrieben.

<sup>17</sup> vgl. Every Interaction: *User Experience*.

URL: <https://www.everyinteraction.com/definition/user-experience/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>18</sup> vgl. Every Interaction: *User Interface*.

URL: <https://www.everyinteraction.com/definition/user-interface/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>19</sup> vgl. Accenture GmbH: *Digitalisierung entzaubern – wie die deutschen Top500 digitale Blockaden lösen*. Studie. 2016.

<sup>20</sup> vgl. Roland Berger: *Digitalisierung der Bauwirtschaft, der europäische Weg zu „Construction 4.0“*. Studie, 2016.

<sup>21</sup> Die Übernahme einer neuen Idee oder eines neuen Produkts geschieht in einem sozialen System nicht gleichzeitig. Einige Gruppen akzeptieren Innovationen schneller als andere. Early Adopters sind eine Gruppe, die als erste (nach Innovatoren selbst) neue Ideen übernimmt oder neue Produkte verwendet. Nach: Rogers, E.: *Diffusion of Innovations*. The Free Press of Glencoe Division of the Macmillan Co., New York 1962.

<sup>22</sup> vgl. Goger, G., Piskernik, M., Urban, H.: *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*. Forschungsbericht. Technische Universität Wien, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2017.

### **Building Information Modeling (BIM)**

Derzeit ist BIM den Unternehmen in der Planungsphase am bekanntesten – in der BRZ-Studie<sup>23</sup> wird geschätzt, dass 80% aller Planer und Architekten diese Methode kennen. Die größten Vorteile der Anwendung von BIM im Unternehmen sind die Steigerung der Prozesseffizienz, die Optimierung der Zusammenarbeit, sowie die Zeitersparnis und die Erhöhung von Transparenz.

### **Mobilität**

Laut BRZ-Studie<sup>23</sup> ist es der am häufigsten genannte IT-Trend in der Bauindustrie. Nach der Studie *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*<sup>24</sup> handelt es sich dabei um die zeit- und ortsunabhängige Verfügbarkeit von Programmen, Informationen und Daten. Der zunehmende Bedarf an hoher Mobilität zeichnet sich durch die steigende Anzahl der Bauprojekte mit wechselnden Standorten und immer wechselnden Projektbeteiligten aus. Einige der häufigsten Bereiche, in denen eine hohe Mobilität für die ausführenden Unternehmen von Vorteil ist, sind das Erfassen von Mängeln während der Abnahme und das Führen des Bautagebuchs.

### **Virtuelle Projekträume und Plattformen**

Projekträume sind ein Mittel, um alle Projektbeteiligten über das Internet zu verbinden. Auch wenn sich die Beteiligten nicht treffen, sind sie in der Lage, an einem Ort die aktuellsten Informationen über das laufende Projekt zu finden, was Zeit und Aufwand im Bauprozess spart, die Qualität erhöht und die Anzahl der Mängel verringert.

## **2.3 Anwendungsanalyse von AR in Bauwesen**

Um AR effizient auf der Baustelle einsetzen zu können, sollte die Technologie ausreichend entwickelt werden, um zuverlässig zu sein. Die Studie *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*<sup>24</sup> listet die folgenden Herausforderungen auf:

- Direkte Verwendung des vorhandenen BIM-Gebäudemodells als Grundlage für das Virtual und Augmented/ Mixed Reality Modell
- „Ungenauigkeit“ der Überlagerung von virtuellen Modellen mit der Realität
- Fehlende Pilotprojekte
- Fehlende Kosten-Nutzen-Studien
- Fehlende große Nachfrage auf Baustellen
- Kostenintensive Investitionen
- Genaues Geotracking
- Fehlende Personalausbildung.

Die AR-Technologien sollen sich laut der Studie bis zum Jahr 2020 in einem ausreichenden Umfang entwickeln, um auf der Baustelle einsetzbar zu sein. AR ermöglicht die Überlagerung von BIM-Modellen und der realen Welt und bietet daher mehr Einsatzmöglichkeiten als Virtual

---

<sup>23</sup> vgl. Bundesrechenzentrum, Organisation und Bauinformatik: *IT-Trends in der Baubranche 2016, Status quo und Perspektiven*. Studie, 2016.

<sup>24</sup> vgl. Goger, G., Piskernik, M., Urban, H.: *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*.

Reality, die nur in geringerem Maße mit der realen Umgebung verknüpft ist (siehe Abschnitt 2.1.3). Die Studien von Kwon<sup>25</sup>, Heinzl<sup>26</sup> und Wang<sup>27</sup> haben die Einsatzmöglichkeiten von AR analysiert. Aufbauend auf einer Literaturstudie wurde für die Diplomarbeit, welche sich mit der Abnahme und der Anwendbarkeit von AR auf den Baustellen beschäftigt, folgende relevante Anwendungsbereiche identifiziert.

### Qualitätssicherung

In einer Studie von Kwon<sup>28</sup> wurden zwei Systeme erforscht: ein Bildmatching-System, das eine Qualitätsprüfung ohne Besuch der eigentlichen Arbeit ermöglicht, und ein System, das es Mitarbeitern und Managern ermöglicht, Maßfehler und Mängel auf der Baustelle automatisch zu erkennen. Solche Systeme sparen den ÖBA-Mitarbeitern, die die Abnahmeprüfungen durchführen, Zeit- und Arbeitsaufwand. Abbildung 3 zeigt eine ähnliche Lösung von Gamma AR, die den ausgeführten Zustand mit den Plänen vergleicht.



Abbildung 3. Beispiel eines AR-Tablet-Systems zur Qualitätssicherung<sup>29</sup>

### Sicherheit

Eine Methode für die Anwendung von AR zur Erhöhung der Sicherheit auf einer Baustelle ist die Möglichkeit, Gefahrenstellen auf einer Baustelle zu markieren. Ein Beispiel wird in einer Studie von Heinzl<sup>30</sup> vorgestellt. Alle Arbeiter werden sofort über die Gefährdung informiert und ihre Position wird angezeigt, wie in der Abbildung 4 rechts zu sehen. Sobald die Gefahr angesprochen

<sup>25</sup> vgl. Kwon, O., Park, C., Lim, C.: *A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality*. In: *Automation in Construction* 45, 2014, S. 74-81.

<sup>26</sup> vgl. Heinzl, A., Azhar, S., Nadeem, A.: *Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase*. In: *9th International Conference of Construction in the Twenty-first Century*. Dubai 2017.

<sup>27</sup> vgl. Wang, X., Dunston, P. S., Skiniewski, M.: *Mixed Reality technology applications in construction equipment operator training*. In: *Proceedings of the 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2004, S. 21-25.

<sup>28</sup> vgl. Kwon, O., Park, C., Lim, C.: *A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality*.

<sup>29</sup> Gamma AR: *BIM and Augmented Reality for Construction Sites*. URL: <https://gamma-ar.com/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>30</sup> vgl. Heinzl, A., Azhar, S., Nadeem, A.: *Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase*.

wird, kann die Gefahrenwarnung entfernt werden, sodass sie auf der AR-Anzeige nicht mehr erscheint.



Abbildung 4. Kennzeichnung einer Gefahrenquelle<sup>31</sup>

### Zustandserfassung

AR kann laut Heinzl<sup>32</sup> für die Echtzeit-Visualisierung und Überwachung von Aktivitäten und Aufgaben eingesetzt werden. Mitarbeiter können den Fortschritt der Arbeiten kontrollieren, indem sie Informationen (z.B. Fotos) über die vor Ort durchgeführten Arbeiten direkt im BIM-Modell speichern und reale Objekte mit ihren virtuellen Entsprechungen verbinden (siehe Abbildung 5). Die Integration von BIM mit AR kann eine Plattform für ein Standortmanagementteam und Subunternehmer bieten, um die in einem BIM-Modell enthaltenen Daten effektiv zu integrieren und zu nutzen.



Abbildung 5. AR in Zustandserfassung<sup>33</sup>

<sup>31</sup> Heinzl, A., Azhar, S., Nadeem, A.: *Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase*.

<sup>32</sup> vgl. Heinzl, A., Azhar, S., Nadeem, A.: *Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase*.

<sup>33</sup> Heinzl, A., Azhar, S., Nadeem, A.: *Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase*.

## Anweisungen

AR kann verwendet werden, um virtuelle Tags auf der realen Instrumententafel, wie in der Abbildung 6 dargestellt, einzubinden. Laut Wang<sup>34</sup> können diese Tags den Zustand bzw. die Funktion der einzelnen Elemente beschreiben oder Schritt-für-Schritt-Anleitungen, Schulungsvideos oder Sicherheitsanweisungen enthalten.



Abbildung 6. AR-Anweisungen<sup>35</sup>

## Remote-Expert-System

AR kann die wechselseitige Kommunikation eines Teammitglieds mit einem entfernten Experten ermöglichen. Lukosch<sup>36</sup> weist darauf hin, dass neben den Funktionen der traditionellen Video- und Audiokommunikation (z.B. das sehen, was das Teammitglied sieht) die Experten den lokalen AR-Anwendern zusätzliche Informationen und Anweisungen geben können, indem sie der realen Welt eine AR-Überlagerung von Informationen hinzufügen. Ein Beispiel für ein solches Fernkommunikationssystem von der Firma Acty ist in Abbildung 7 dargestellt. Der Techniker kann einen Remote-Experten konsultieren und Instruktionen erhalten, die auf einem mit der Realität verknüpften Layer angezeigt werden.

## 2.4 Stand der Technik von AR

Der Umfang der Funktionalitäten des AR-Tools entspricht dem aktuellen Stand der Technik. Drei Haupttypen von AR-Hardware sind Smartphones / Tablets, Head-Mounted-Displays (einschließlich Smart-Brillen) und Kiosksysteme<sup>37</sup>. Diese Aufteilung ist in Abbildung 8 dargestellt.

<sup>34</sup> vgl. Wang, X., Dunston, P. S., Skiniewski, M.: *Mixed Reality technology applications in construction equipment operator training*.

<sup>35</sup> Daqri: *Announcing Daqri Worksense*. URL: <https://daqri.com/blog/announcing-daqri-worksense/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>36</sup> vgl. Lukosch S., Billingham M., Alem L.: *Collaboration in Augmented Reality*. In: *Computer Supported Cooperative Work* 24, 2015, S. 515-525.

<sup>37</sup> vgl. *Augmented Minds: AR/MR Devices*.

URL: <https://www.augmented-minds.com/en/augmented-reality/ar-hardware-devices/> (Zugriff am 13.10.2019)



Abbildung 7. Remote-Expert-System der Firma Acty<sup>38</sup>

Die ersten beiden Typen sind mobil einsetzbar, während es sich bei den Kiosksystemen, auch AR-Spiegel genannt, um stationäre Lösungen handelt – es handelt sich um Großbildschirme, die bei Veranstaltungen oder Messen eingesetzt werden.

Die Mobilität der ersten beiden Arten von Hardware macht sie anwendbar für die TGA-Abnahme. Smartphones und Tablets sind Handheld-Geräte, während die HMD auf dem Kopf getragen werden, sodass die Hände frei bleiben. Im Forschungsprojekt *Einsatz von Augmented Reality zur Abnahme und Qualitätssicherung auf Baustellen*<sup>39</sup> wird der Fokus auf HMD gelegt, insbesondere auf dem vom Projektpartner DAQRI hergestellten Headset. Aus diesem Grund ist diese Diplomarbeit auch auf eine Analyse der Einsatzmöglichkeiten von DAQRI Smart Glasses im Abnahme-Prozess beschränkt.

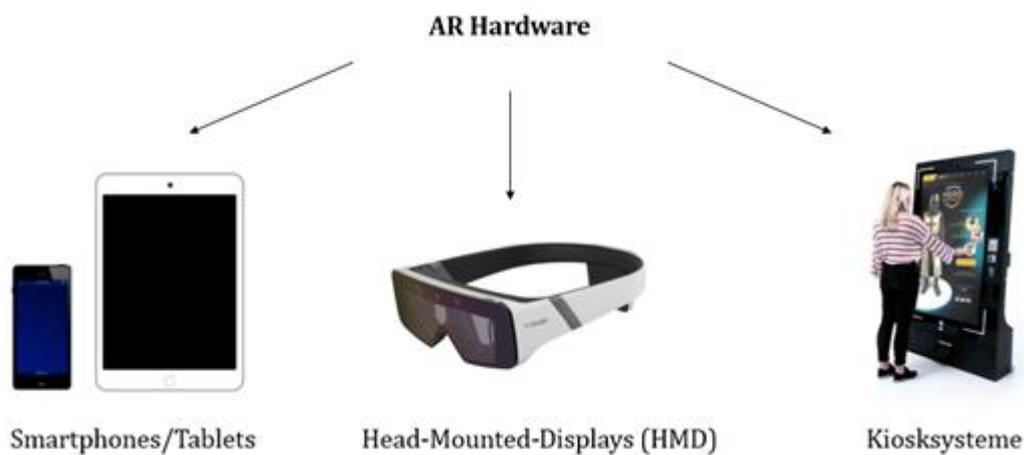


Abbildung 8. AR-Hardware-Typen<sup>40,41</sup>

<sup>38</sup> Acty: *Visual remote assistance software in augmented reality AR*. URL: <https://www.acty.com/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>39</sup> vgl. Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien: *AR-AQ-BAU*. URL: <https://www.ibb.tuwien.ac.at/zdb2/ar-aq-bau/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>40</sup> Daqri: *Smart Glasses*. URL: <https://daqri.com/products/smart-glasses/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>41</sup> Indestry: *Hero Mirror*. URL: <https://www.indestry.com/hero-mirror> (Zugriff am 13.10.2019)

In den weiteren Abschnitten werden einerseits die von der Firma DAQRI entwickelte AR-Hardware präsentiert, andererseits die von der Firma ARIOT (ebenfalls Partner des Forschungsprojekts) vorgeschlagene Lösung für den bidirektionalen Informationsaustausch zwischen BIM und AR.

### 2.4.1 AR-Hardware: DAQRI Smart Glasses

In diesem Abschnitt werden der Aufbau und die Funktionalität der Brille vorgestellt, um einen klaren Überblick über die Vorteile und Einschränkungen zu geben. Abbildung 9 zeigt den Aufbau der Brille und der eingebauten Tasten. Die Tasten A und B ermöglichen die Einstellung von Helligkeit und Lautstärke, die Taste C kehrt zum Startmenü (Launcher genannt) zurück, die Taste D wird für die Aufnahme von Screenshots und Videos verwendet.

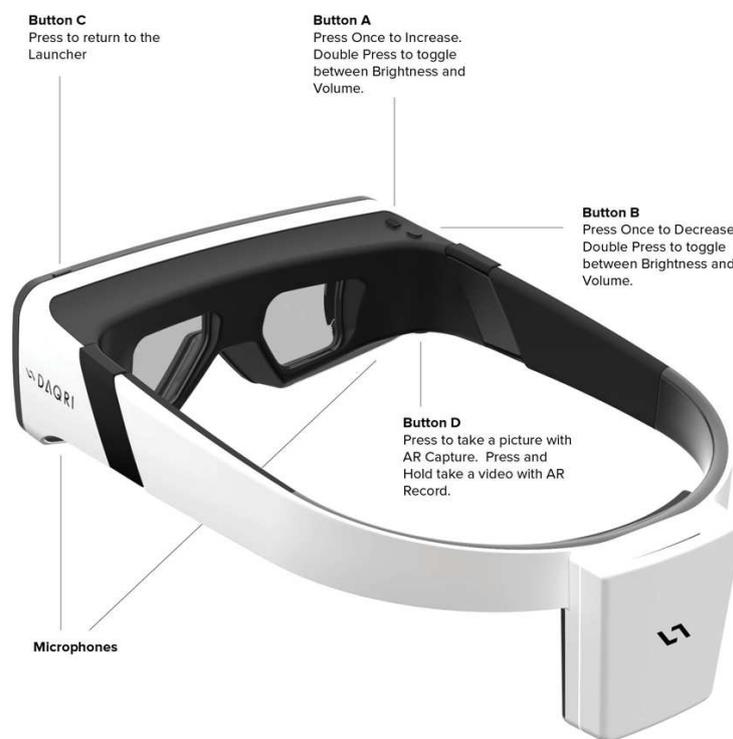


Abbildung 9. DAQRI AR-Brille<sup>42</sup>

Die Smart-Brillen der Firma DAQRI<sup>43</sup> sind mit vielen verschiedenen Funktionen ausgestattet. Die wichtigsten Funktionen werden nachfolgend beschrieben, um zu zeigen, wie sie im TGA-Abnahme-Prozess angewendet werden können.

#### Gaze and dwell

Die Brille verwendet die Auswahlmethode „gaze and dwell“. Der Punkt, der in der Mitte der Benutzeransicht erscheint, wird als Fadenkreuz bezeichnet. Es wird verwendet, um Optionen und

<sup>42</sup> Daqri: *Smart Glasses User Guide*. URL: <https://support.daqri.com/#!/content/smart-glasses-user-guide/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>43</sup> vgl. Daqri: *Worksense*. URL: <https://support.daqri.com/#!/content/worksense/> (Zugriff am 13.10.2019)

Gegenstände freihändig auszuwählen. Das Fadenkreuz wird durch Bewegen des Kopfes verschoben. Wenn es auf einer Taste „verweilt“, wird diese Taste ausgewählt.

### Tastatur

Die DAQRI-Brille ist mit einer virtuellen Tastatur ausgestattet, mit der Noten erstellt werden können. Die Bedienung der Tastatur erfolgt nach dem „gaze and dwell“-Prinzip.

### Fotoapparat

Eine weitere Funktion der Brille ist eine eingebaute Kamera, die Bilder und Videos aufnehmen kann. Die Aufnahmen werden in einer Galerie gespeichert.

### Verbinden von Apps

Die aus der Perspektive der Weiterentwicklung interessanteste Option ist die Möglichkeit, externe Apps an das Device anzuschließen. Die Brillen sind mit einigen Standard-Apps ausgestattet, welche von der Firma DAQRI selbst entwickelt wurden. Das Vorhandensein einer offen zugänglichen API für das Visual Operating System ermöglicht es, spezialisierte Tools, wie das System für TGA-Abnahme, zu entwickeln. Folgende Apps sind standardmäßig enthalten:

- **Show App:** Die Show App ermöglicht es dem Benutzer, sein Team oder externe Experten per Video-Chat und mithilfe der digitalen Anmerkungen zu konsultieren. Der Remote-Experte fügt Anmerkungen hinzu, indem er auf die Kameraeingabe klickt und darauf zeichnet.
- **Tag App:** Tag ermöglicht es dem Benutzer, Informationen an reale Einrichtungen und Objekte anzuhängen. Benutzer können Tags verschiedene Arten von Inhalten zuweisen. Tag ermöglicht es auch, dass digitale Informationen aus bestehenden Systemen in Echtzeit in die reale Welt fließen.
- **Scan App:** Scan ist eine App, die es dem Benutzer ermöglicht, die Umgebung zu scannen und daraus 3D-Modelle zu generieren. Es ist auch mit einer Änderungserkennungsfunktion ausgestattet, die es ermöglicht, zwei Scans automatisch zu vergleichen und die Änderungen zu markieren.
- **Model: BIM Edition App:** Diese Funktionalität ermöglicht es, BIM-Modelle zu öffnen, die mit Autodesk-Produkten (im Revit-Format) erstellt wurden. Das Modell kann dann durch Auswahl eines Markers (QR-Code), der sowohl in der realen Welt als auch im virtuellen Objekt platziert ist, lokalisiert werden. Das Modell wird auch automatisch skaliert.

### 2.4.2 AR-BIM bidirektionaler Datenaustausch

Ein funktionsfähiges System für die TGA-Abnahme erfordert eine bidirektionale Verbindung zwischen dem BIM-Modell und der AR-Brille. Dadurch werden alle Daten, die in das BIM-Modell eingegeben werden, für den Benutzer des AR-Tools sichtbar. Zusätzlich kann der Benutzer des AR-Tools Informationen zu Objekten innerhalb des AR-Interfaces einfügen, die dann mit dem BIM-Modell verknüpft werden.

Derzeit ist jedoch keine funktionsfähige Lösung für einen bidirektionalen Datenaustausch vorhanden. Stattdessen funktionieren die existierende Systeme nur in eine Richtung: Daten

können vom BIM-Modell zum AR-Modell transferiert werden, umgekehrt ist es aber nicht möglich. Abbildung 10 zeigt einen typischen Fall einer solchen „Einbahnstraße“.

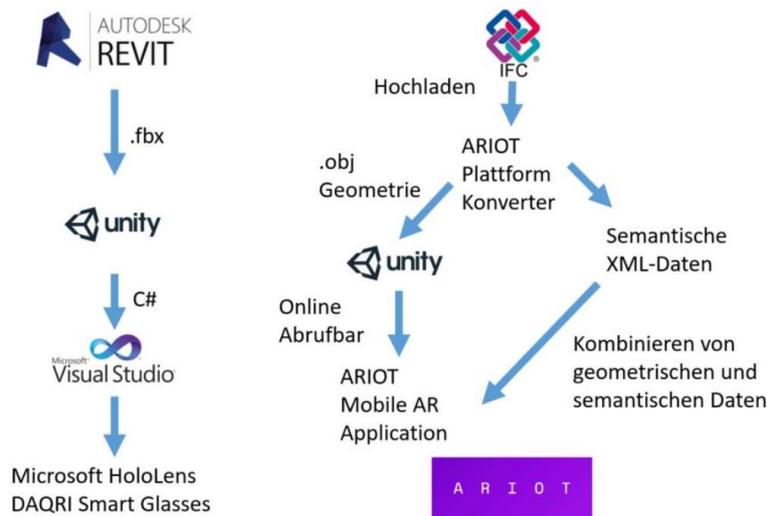


Abbildung 10. Derzeitiger Datenfluss (nur in eine Richtung)<sup>44</sup>

Im Zuge des Forschungsprojekts *Einsatz von Augmented Reality zur Abnahme und Qualitätssicherung auf Baustellen*<sup>45</sup> wird eine Lösung für den bidirektionalen Datenaustausch entwickelt. Abbildung 11 zeigt das Prinzip des bidirektionalen Austausches von einem nativen Modell, das mit einer beliebigen Software erstellt wird, über das AR-Tool zurück zu dem BIM-Modell. Die BIM-Modelle werden als IFC-Dateien geliefert. Da es sich bei IFC um ein offenes Dateiformat handelt, kann eine beliebige Software zur Erstellung des Modells durch ein interdisziplinäres Team verwendet werden. Alle Informationen aus der IFC-Datei werden in semantische und geometrische Daten unterteilt. Semantische Daten werden über eine XML-Datei, die geometrischen Daten über eine OBJ-Datei übertragen. Die Übertragung von Informationen in die entgegengesetzte Richtung (von AR zu BIM) erfolgt durch die Verwendung einer BCF-Datei. Das BIM Collaboration Format, kurz BCF, ist ein Open-Source-XML-Format, welches ermöglicht, semantische Informationen zu einem BIM-Modell hinzuzufügen, ohne das Modell selbst zu verändern. Laut BIM Connect<sup>46</sup> ist es bereits eine State-of-Art-Lösung für das Tracking von Problemen, die während des Bauprozesses identifiziert, dokumentiert und behoben werden. Jeder gefundene Mangel wird durch eine eindeutige ID-Nummer im BCF-Format identifiziert. Jedem Mangel können Informationen zugeordnet werden, wie z.B. ein Zuständiger und eine Behebungsfrist. Zusätzlich ermöglicht das BCF-Format eine automatische Verbindung des Mangels mit dem betroffenen Objekt (z.B. Bauteil).

<sup>44</sup> vgl. Projektbeschreibung für Förderungsansuchen des Programms Stadt der Zukunft: *Einsatz von Augmented Reality zur Abnahme und Qualitätssicherung auf Baustellen*.

<sup>45</sup> vgl. Projektbeschreibung für Förderungsansuchen des Programms Stadt der Zukunft: *Einsatz von Augmented Reality zur Abnahme und Qualitätssicherung auf Baustellen*.

<sup>46</sup> vgl. BIM Connect: *Building Information Modeling in der Praxis*. URL: <https://bimconnect.org/> (Zugriff am 13.10.2019)

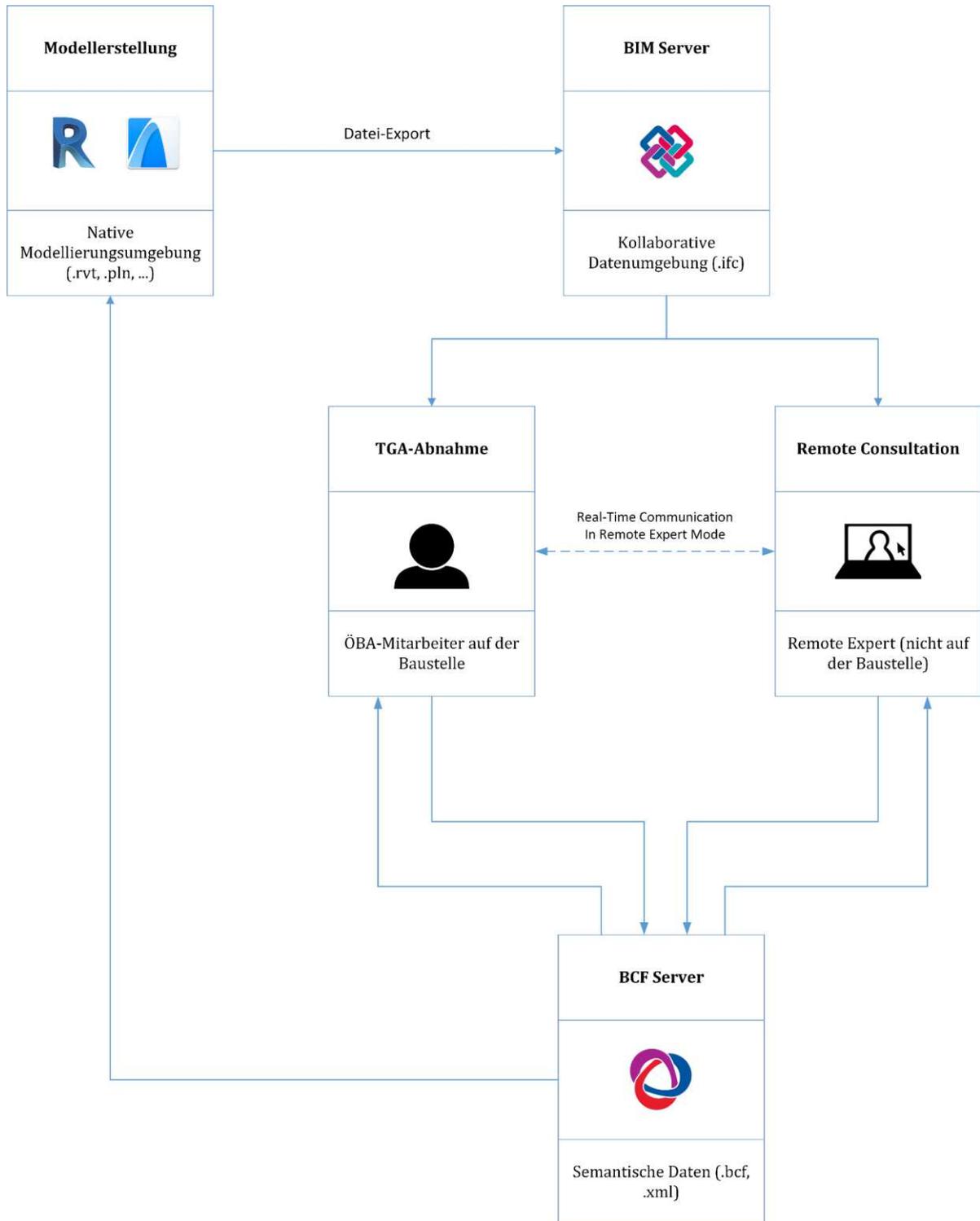


Abbildung 11. Datenfluss: BIM-AR-Austausch

## 2.5 User Experience Design

Zur Vermeidung von nicht verwendbaren Produkten, die nicht den Bedürfnissen und Wünschen der Kunden entsprechen, ist es üblich, bei der Entwicklung eines neuen Tools die Regeln des UCD zu berücksichtigen. Bei dieser Diplomarbeit liegt der Fokus insbesondere auf der User Experience (UX). Es wird nach den Regeln der UCD konzipiert, um die maximale Nutzbarkeit des Endprodukts zu gewährleisten. Laut Garret<sup>47</sup> lässt sich das Design von UX in fünf Schichten unterteilen, von der Gesamtübersicht bis zu den Details: die Strategie, der Umfang, die Struktur, das Skelett und die Oberfläche.

- Die Strategie (the strategy plane) ist die Grundlage des Tools, sie definiert die Bedürfnisse des Benutzers und setzt die Ziele.
- Der Umfang (the scope plane) definiert, welche Funktionalitäten und Features in dem entworfenen Tool enthalten sind.
- Die Struktur (the structure plane) definiert die Navigation im AR-Tool – wie Benutzer von einem Menü zum anderen wechseln. Das Ergebnis ist eine Navigationsstruktur des digitalen Produkts.
- Das Skelett (the skeleton plane) bezieht sich auf die Positionierung von Schaltflächen, Fotos und Textblöcken. Es wird im Zuge der Diplomarbeit durchdacht; dennoch ist dies ein Aspekt, in dem das AR-Tool nach Rücksprache mit einem UX-Experten verbessert werden kann.
- Die Oberfläche (the surface plane) ist im Wesentlichen die Ästhetik und visuelle Gestaltung des User-Interface. Dieser Aspekt steht im Zusammenhang mit der Auswahl von Farben, Grafiken und Symbolen im Interface und ist nicht Bestandteil dieser Diplomarbeit – Farben und Symbole sollen entsprechend den Anforderungen an Branding und Usability ausgewählt werden.

## 2.6 Normen und Vorgaben für die TGA-Abnahme

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten technischen Normen und Richtlinien behandelt, welche im Zusammenhang mit der TGA-Abnahmeprozess stehen. Eine wesentliche Norm im Prozess der Übernahme von TGA-Leistungen ist die ÖNORM B 2110<sup>48</sup>. Die Leistungsbeschreibung Haustechnik LB-HT07<sup>49</sup> enthält die bei der Übernahme empfohlenen Methoden und Verfahren in den Leistungsgruppen LG 91: Planung und Inbetriebnahme und LG 92: Abnahmeprüfungen. Die übrigen Normen geben die Prüf- und Messverfahren für die Übernahme von Anlagen in den Bereichen Lüftung, Wasser, und Elektrotechnik vor. Bei den in dieser Diplomarbeit dargelegten Normen handelt es sich nicht um alle im Abnahme-Prozess verwendeten Normen; das Ziel dieses Abschnitts ist es, eine repräsentative Stichprobe der

<sup>47</sup> vgl. Garret, J.: *The Elements of User Experience*.

<sup>48</sup> vgl. Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 2110:2013 03 15 – Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen*. Austrian Standards plus, 2013.

<sup>49</sup> Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort: *Standardisierte Leistungsbeschreibung für die Haustechnik (LB-HT)*. Version 07, 2005.

relevantesten Normen für ein möglichst breites Spektrum von Gewerken anzuführen. Es ist zu berücksichtigen, dass es fast keine definierte Inbetriebnahme- und Abnahmeprozesse, zu denen der ÖBA verpflichtet ist, gibt. Deshalb ist es für den Planer bzw. Ausschreiber besonders wichtig, alle gewünschten Inbetriebnahme- und Abnahmeprozesse bzw. relevanten Vorschriften in den Vertrag miteinzubeziehen.

### 2.6.1 ÖNORM B 2110, Abschnitt 10: Übernahme

Die ÖNORM B 2110 „Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen – Werkvertragsnorm“<sup>50</sup> ist eine umfassende Richtlinie, die die Regeln für Ausschreibungen und allgemeine Vertragsbestimmungen im Bereich Bauleistungen beschreibt. Der zehnte Abschnitt betrifft die Übernahme. Im ersten Teil dieses Abschnitts werden die förmliche und die formlose Übernahme definiert.

Die förmliche Übernahme gilt nur, wenn sie entweder im Vertrag gefordert wird oder für die jeweilige Art von Leistung üblich ist. Der Auftragnehmer (AN) hat den Auftraggeber (AG) über die Fertigstellung der Leistung schriftlich zu informieren. Die Frist für die Übernahme der Leistung durch den AG beträgt 30 Tage, sofern im Vertrag nichts anderes bestimmt ist. Hat keine förmliche Übernahme zu erfolgen, gilt die Leistung als formlos übernommen, wenn der AG die Leistung in seine Verfügungsmacht übernommen hat. Nach Abschluss der Übernahme beginnt die Gewährleistungsfrist.

Die ÖNORM B 2110 schreibt vor, dass der AG während des Abnahmeprozesses ein Protokoll zu erstellen hat, das *"gerügte, jedenfalls aber auffällige Mängel an der erbrachten Leistung und Fristsetzung für ihre Behebung"*<sup>51</sup> enthält. Das Protokoll sollte von beiden Parteien unterzeichnet werden. Der AG kann auch teilweise die Zahlung für eine mangelhafte Leistung zurückhalten (bis zum Dreifachen der Kosten der Ersatzvornahme) oder – falls die Leistung Mängel aufweist, die den vereinbarten Gebrauch beeinträchtigen – die Übernahme verweigern. Die Norm gibt jedoch keine Definition dafür vor, was eindeutig als Mangel gilt oder welche Verfahren bzw. Methoden während des Übernahmeprozesses angewendet werden sollten. Daher bietet die Norm nur eine begrenzte Hilfe bei der Erstellung der Ausschreibung unter dem Aspekt von Abnahme- und Inbetriebnahmeverfahren.

### 2.6.2 LB-Haustechnik – Version 07

Die standardisierte Leistungsbeschreibung LB-HT 07<sup>52</sup> wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit herausgegeben. Es soll als Hilfe bei der Erstellung von Leistungsbeschreibungen für einzelne Projekte verwendet werden. Neuere Versionen wurden nach 2005 herausgegeben (die aktuellste ist die Version 012, im Dezember 2018 herausgegeben),

---

<sup>50</sup> vgl. Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 2110:2013 03 15 – Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen*. Austrian Standards plus, 2013.

<sup>51</sup> vgl. Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 2110:2013 03 15 – Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen*, Seite 38.

<sup>52</sup> Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort: *Standardisierte Leistungsbeschreibung für die Haustechnik (LB-HT)*. Version 07, 2005.

aber die Version 07 ist die letzte, die hilfreiche Definitionen und Beschreibungen im Bereich der Abnahme enthält.

### **Leistungsgruppe LG 91: Planung und Inbetriebnahme**

Die Leistungsgruppe LG 91 betrifft Inbetriebnahme in den Bereichen Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Mess-, Steuer-, Regel- und Leittechnik (MSRL-Technik). Das Dokument gibt für alle diese Gewerke Textvorschläge, die direkt in individuellen Leistungsbeschreibungen benutzt werden können. Im Bereich Heizungsinstallationen soll die Inbetriebnahme eine Einregulierung der Energieversorgungsanlage auf die berechneten Förder(teil-)ströme beinhalten, insbesondere

- Einstellen der Pumpendrehzahlstufen
- Einstellen der Strangregulierventile, Gruppenregulierventile, Voreinstellungen von Heizkörperventilen und dergleichen
- Einstellen von Differenzdruckregelventilen, Überströmventilen und dergleichen.

Im Bereich Lüftungs- und Klimainstallationes soll die Inbetriebnahme eine Einregulierung der Lüftungsanlage auf die berechneten Luftmengen, insbesondere

- Einstellen der Ventilatoren und dergleichen
- Einstellen sämtlicher Drosselemente, Volumenstromregler, Luftauslässe und dergleichen.

Im Bereich MSRL-Technik beinhaltet die Inbetriebnahme die folgenden Punkte:

- Kontrolle der hydraulischen Schaltungen und der Montage der MSRL-Peripherie
- Kontrolle der Sicherheitsfunktionen
- Kontrolle der Verriegelungsfunktionen
- Kontrolle der Anschlussspannung der MSRL-Hardware
- Kontrolle der Kennzeichnung aller Geräte der MSRL-Hardware
- Testen der Systemhardware (Geber, Unterstationen, Leitebene)
- Testen der angeschlossenen Informationspunkte
- Testen der Funktion des Hardware-Gesamtsystems
- Überprüfung der Brandschutzklappenfunktion.

Der gleiche Abschnitt beschreibt die Anforderungen an den Probetrieb und an die Nachregulierung MSRL.

### **Leistungsgruppe LG 92: Abnahmeprüfungen**

Die Leistungsgruppe LG 92 betrifft Abnahmeprüfungen in den Bereichen Heizungs-, Lüftungs-, Klima-, und MSRL-Technik. In der Leistungsgruppe wird der Abnahme- und Inbetriebnahmeprozess jeweils in drei Teile unterteilt: Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung, und Funktionsmessung. Die Leistungsgruppe LG 92 definiert die Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung, und Funktionsmessung folgendermaßen:

Vollständigkeitsprüfung wird definiert als eine „Prüfung, durch die nachzuweisen ist, dass Lieferungen und Leistungen im vertraglich vorgesehenen Umfang erbracht sind, dass Bauelemente

*den behördlichen Vorschriften (insbesondere den Sicherheitsvorschriften) entsprechen und dass den Regeln der Technik entsprechend installiert wurde.“*

Funktionsprüfung wird definiert als „Prüfung, durch die die vertragsgemäße Funktion der Anlage nachzuweisen ist. Sie soll zeigen, ob die einzelnen Bauelemente der Anlage funktionsgerecht eingebaut und wirksam sind. Die Funktionsprüfung ist an eine Funktionsmessung gebunden.“

Funktionsmessung wird definiert als „Messung der Istwerte der Anlage zum Nachweis ihrer Übereinstimmung mit den vertraglich festgelegten Sollwerten.“

Alle drei Verfahren müssen für jedes TGA-Element durchgeführt werden. Die LB-HT definiert, was genau bei jeder Art von Installation zu überprüfen ist. In Heizungsanlagen sind alle Volumenströme oder Teilvolumenströme zu bemessen und produktbezogene Datenblätter (Spezifikationen, Diagramme etc.) oder Messgeräte zur Verfügung zu stellen. In Lüftungs- und Klimaanlageanlagen sind Luftstrom, Raumluftgeschwindigkeit und Schalldruckpegel zu bemessen. Im Bereich der MSRL-Technik sind die Anlagenmesswerte (Temperaturen, Feuchte etc.) über einen Zeitraum von vierzehn Tagen aufzuzeichnen und zu dokumentieren. Der Zeitpunkt der Messung soll mit dem AG vereinbart werden.

### 2.6.3 ÖNORM EN 12599: raumluftechnische Anlagen

Die ÖNORM EN 12599 „Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen“<sup>53</sup> gibt eine detaillierte Methode zur Abnahme von Lüftungssystemen an. Diese Norm ist nicht automatisch verbindlich und betrifft nur eine begrenzte Auswahl an Installationen. Wenn die Norm auf ein bestimmtes Projekt angewendet wird, sollte der Prüfprozess aus fünf Aspekten bestehen, die in einer bestimmten Reihenfolge durchgeführt werden: Vollständigkeitsprüfungen, Funktionsprüfungen, Funktionsmessungen, Sondermessungen, und Bericht. Ziel und Inhalt jedes dieser Aspekte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung und Funktionsmessung sind in der LB-HT 07 definiert (siehe Abschnitt 2.6.2). Sondermessungen werden nur verwendet, wenn die Funktionsmessungen nicht ausreichen, um zu überprüfen, ob ein Gerät ordnungsgemäß funktioniert. Da Sondermessungen in der Regel einen höheren monetären und persönlichen Aufwand erfordern, müssen sie im Vertrag gesondert spezifiziert werden. Die Norm regelt auch, wie die einzelnen Funktionsmessungen ablaufen und was die zulässigen Messunsicherheiten sind. Zusätzlich enthält es Checklisten für die Abnahme verschiedener Arten von Lüftungsgeräten. Abschnitt 9 der ÖNORM EN 12599 widmet sich der Erstellung von Berichten aus den Übernahmen. Hier werden die erforderlichen Elemente der Berichte angegeben:

- Datum und Ort der Inspektion
- Gebäude- oder Projektbezeichnung
- Prüfpersonal und Zeugen
- Beschreibung des Gebäudes und der Anlage

---

<sup>53</sup> Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 12599:2012 12 15 – Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen*. Austrian Standards plus, 2012.

- Vereinbarte Spezifikationen
- Vorgeschriebene Prüfungen
- Liste der vereinbarten zusätzlichen Funktions- und Sonderprüfungen
- Verwendete Messeinrichtung und deren Genauigkeit.

Der Endbericht sollte alle Bestandteile des Prüfprozesses (Vollständigkeitsprüfungen, Funktionsprüfungen, Funktionsmessungen, Sondermessungen) beschreiben. Es muss ein Nachweis darüber enthalten, dass alle in Tabelle 1 aufgelisteten Tätigkeiten durchgeführt wurden.

Tabelle 1. Übersicht über fünf Bestandteile des Prüfprozesses<sup>54</sup>

Erforderliche Schritte	Zweck	Tätigkeiten	Anhänge
<b>Schritt a</b> Vollständigkeitsprüfungen	Sicherstellen, dass die RLT-Anlage vollständig in Übereinstimmung mit dem Vertrag eingebaut wurde	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vergleich der Einrichtung mit dem Installationsverzeichnis</li> <li>2. Übereinstimmung mit technischen Regeln (vertraglich und formell)</li> <li>3. Zugänglichkeit</li> <li>4. Sauberkeit</li> <li>5. Abgleich</li> <li>6. Dichtigkeit</li> <li>7. Notwendige Betriebsunterlagen</li> </ol>	<b>Anhang A</b> mit genaueren Angaben zu den Tätigkeiten 1 bis 7
<b>Schritt b</b> Funktionsprüfungen	Überprüfen des Anlagenbetriebs	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anlage in Gebrauch nehmen</li> <li>2. Betriebsfähigkeit der Bauteile und der Anlage</li> </ol>	<b>Anhang C</b> Bestimmung des Umfangs <b>Anhang B</b> Übersicht zur Funktion der Bauteile und der Anlage
<b>Schritt c</b> Funktionsmessungen	Überprüfen – auf statistischer Grundlage, ob die Anlage die in der Planung vorgesehenen Werte erreicht	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bestimmen der erforderlichen Messungen und Aufzeichnungen</li> <li>2. Umfang der Funktionsmessungen entsprechend den Klassen A, B, C und D</li> <li>3. Messungen</li> <li>4. Begleitende Messungen (siehe 6.4)</li> </ol>	<b>Anhang C</b> Bestimmung des Umfangs <b>Anhang D</b> Messverfahren und Messgeräte
<b>Schritt d</b> Sondermessungen (falls erforderlich)	Bei Zweifeln an der Qualität von Teilen der Anlage, wenn zuvor die Schritte a bis c angewendet wurden oder falls gesondert vereinbart	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bestimmung der erforderlichen Messungen und Aufzeichnungen</li> <li>2. Bestimmung der Messunsicherheit</li> <li>3. Messungen</li> </ol>	<b>Anhang D und Anhang E</b> Messverfahren und Messgeräte sowie Sondermessungen
<b>Schritt e</b> Bericht siehe Abschnitt 9		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bericht</li> <li>2. Übergabe des Berichts</li> </ol>	<b>Anhang A</b> Beispiel eines Prüfberichts für die Vollständigkeitsprüfung <b>Anhang I</b> Beispiele für Messprotokolle

<sup>54</sup> Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 12599:2012 12 15 – Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlufttechnischer Anlagen*. Austrian Standards plus, 2012. Seite 11.

### 2.6.4 ÖNORM EN 14336: Heizungswasser

Die ÖNORM EN 14336 „Heizungsanlagen in Gebäuden – Installation und Abnahme der Warmwasser-Heizungsanlagen“<sup>55</sup> enthält eine detaillierte Anleitung zur Abnahme von Warmwasserheizungen. Diese Norm kann für die Anforderungen an die gesamte Anlage und ihre einzelnen Komponenten angewendet werden. Abschnitt 5 dieser Norm gibt einen detaillierten Überblick darüber, wie die Überprüfungen vor der Endabnahme aussehen sollten. Diese laufende Qualitätssicherung ist nicht durch die ÖNORM B 2110 geregelt, deshalb hat die ÖNORM EN 14336 zum Ziel, sicherzustellen, dass sich alle Anlagen noch vor der Inbetriebnahme in einem akzeptablen und sicheren Zustand befinden. Die Norm nennt die folgenden Aspekte als Bestandteile der laufenden Qualitätssicherung und bietet eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise sowie eine Vorlage für die Dokumentation:

- Überprüfung des Zustands der Anlage
- Dichtheitsprüfung
- Druckprüfung
- Spülen und Reinigung der Anlage
- Befüllen und Entlüften der Anlage
- Frostschutz
- Betriebliche Überprüfungen
- Fertigstellungsbericht.

Während der Inbetriebnahme muss zusätzlich überprüft werden, dass die Heizungsanlage Wärme übertragen kann, die Pumpen betriebsbereit sind und alle Anlagenteile für den Heizbetrieb bereit sind.

### 2.6.5 ÖNORM B 5019: Trinkwasser-Erwärmungsanlagen

Die ÖNORM B 5019 „Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen“<sup>56</sup> betrifft die hygienischen Anforderungen an erwärmtes Trinkwasser. Es umfasst die Inbetriebnahme von Trinkwassergeräten und Verteilersystemen. Diese Norm gilt insbesondere für öffentliche Gebäude, Wohngebäude und gesundheitsbezogene Objekte, wie z.B. Krankenhäuser. Diese Norm gilt nicht für dezentrale Warmwasserbereiter oder Anlagen für eine private Anwendung.

Alle Trinkwasser-Erwärmungsanlagen sind in vier Risikogruppen eingeteilt, je nach dem Bedeutungsgrad des Objekts (siehe Tabelle 2). Ausgehend von der Risikogruppe müssen die Anlagen vor der Inbetriebnahme verschiedenen Prüfungen unterzogen werden. Die Norm enthält auch eine Vorlage für das Inbetriebnahmeprotokoll.

---

<sup>55</sup> Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 14336:2004 12 01 – Heizungsanlagen in Gebäuden – Installation und Abnahme der Warmwasser-Heizungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2004.

<sup>56</sup> Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 5019:2017 02 15 – Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2017.

Alle Vorrichtungen müssen den folgenden Vorgehensweisen unterzogen werden:

- Dichtheits- und Druckprüfungen
- Spülung der Anlage mit Kaltwasser
- Thermische Desinfektion mit mindestens 65°C
- Einregulierung
- Erstuntersuchung unmittelbar nach der Einregulierung.

Tabelle 2. Einteilung in Risikogruppen<sup>57</sup>

Risiko-gruppe	Gefährdungspotential für Infektionen	Bereiche (Beispiele)
4	hoch	Krankenanstalten oder Bereiche von Krankenanstalten mit immunsupprimierten <sup>a</sup> Patienten
3	mittel bis hoch	Krankenanstalten oder Bereiche von Krankenanstalten, die nicht unter die Risikogruppe 4 fallen (zB Pflegeeinheiten, Normalstationen), Altenheime, Pflegeheime, Kuranstalten, Rehabilitationszentren, physikalisch-therapeutische Einrichtungen
2	gering bis mittel	Sportanlagen, Kasernen, Schulen, Bade- und Wellnesseinrichtungen, Fitnesscenter, Beherbergungsbetriebe (zB Hotels, Jugendheime), soweit sie nicht unter die Risikogruppe 3 fallen
1a	gering	Verwaltungsgebäude, öffentliche Gebäude
1b	gering	private Gebäude, Wohnanlagen

<sup>a</sup> Immunsupprimierte Patienten können zB Patienten mit Chemotherapie, transplantierte Patienten oder Patienten mit einer Erkrankung des Immunsystems sein.

Die Anlagen in Gebäuden der Risikogruppen 3 und 4 sollten zusätzlich einer Überprüfung auf die maximale Konzentration von Legionellen<sup>58</sup> unterliegen.

### 2.6.6 OVE E 8101: Elektrische Niederspannungsanlagen

Die OVE E 8101 „Elektrische Niederspannungsanlagen“<sup>59</sup> ist eine neue Version der Norm für die Installation von Niederspannungsanlagen, die am 1. Januar 2019 veröffentlicht wurde. In dieser neuen Norm, die u.a. die alten Normen der ÖNORM E 8001 Reihe ersetzt, wurden alle Anforderungen an die Planung, Installation und Prüfung von elektrischen Niederspannungsanlagen zusammengefasst. Der relevanteste Abschnitt für die Abnahme ist der Teil 6, der sich mit den Prüfungen der Anlagen befasst. Jede elektrische Anlage muss gemäß der Norm während der Installation und/ oder Fertigstellung geprüft werden, bevor sie in Betrieb genommen wird. Diese Prüfung muss vor der Inbetriebnahme erfolgen, um nachzuweisen, dass die Anforderungen der technischen Vorschriften erfüllt sind. Der Prozess der Überprüfung besteht aus drei Elementen: Besichtigen, Erproben und Messen.

<sup>57</sup> Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 5019:2017 02 15 – Hygienerrelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2017. Seite 11.

<sup>58</sup> Wasser- und Bodenbakterien, die in sehr geringen Konzentrationen auch im Trinkwasser vorhanden sind.

<sup>59</sup> Österreichisches Normungsinstitut: *OVE E 8101:2019 01 01 – Elektrische Niederspannungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2019.

Die Besichtigung ist der erste Teil des gesamten Prüfprozesses und sollte bei ausgeschalteter Anlage durchgeführt werden. Ziel dieses Teils ist die augenscheinliche Überprüfung, ob die Anlage die Anforderungen hinsichtlich

- Sicherheit
- Herstellerangaben
- sichtbaren Beschädigungen

erfüllt. Insbesondere sollte Folgendes überprüft werden:

- Art der Maßnahme des Fehlerschutzes sowie Messung von Abständen, die z.B. den Schutz durch Absperrungen oder Umhüllungen, durch Hindernisse oder durch Anordnung außerhalb des Handbereichs betreffen
- Vorhandensein von Brandabschottungen und anderen brandschutztechnischen Maßnahmen
- verwendete Leiter, Erdungsleitungen und Erder
- verwendete Schutz- und Überwachungseinrichtungen
- Vorhandensein von geeigneten und an der richtigen Stelle angeordneten Trenn- und Schaltgeräten
- verwendete Betriebsmittel und deren Schutzarten
- Kennzeichnung der Neutralleiter und der Schutzerdungsleiter
- Vorhandensein von Plänen, Warnhinweisen und dergleichen
- Kennzeichnung der Stromkreise, Sicherungen, Schalter, Klemmen usw.
- ordnungsgemäße Leiterverbindungen
- leichte Zugängigkeit zur Bedienung, Kennzeichnung und Instandhaltung.

Während des Erprobens und Messens sind die folgenden Prüfungen in der in der OVE E 8101 vorgeschriebenen Reihenfolge durchzuführen:

- Durchgängigkeit der Schutzerdungsleiter und der Potentialausgleichsleiter
- Isolationswiderstände der elektrischen Anlage
- Trennung der Stromkreise in den Fällen der Maßnahmen des Fehlerschutzes Schutzkleinspannung, Funktionskleinspannung und Schutztrennung
- Fußboden- und Wandwiderstände
- automatische Abschaltung im Fehlerfall
- Prüfung auf polrichtiges Schalten
- Funktionsprüfungen
- Prüfung des Drehfeldes.

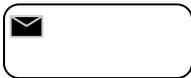
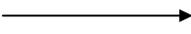
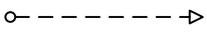
Die Vorgehensweise dieser Prüfungen ist auch in der Norm geregelt.

## 2.7 Building Process Model and Notation (BPMN)

Die BPMN 2.0 ist ein internationaler Standard, mit dem Geschäftsprozesse und Workflows modelliert und simuliert werden können. Seit 2013 ist BPMN 2.0 bei der ISO als ISO/IEC 19510:2013<sup>60</sup> registriert. In einer Umfrage<sup>61</sup> aus dem Jahr 2015 wurde es als die am weitesten verbreitete Notation zur Prozessmodellierung anerkannt. Es wird in dieser Diplomarbeit zur Darstellung des Abnahmeprozesses von TGA verwendet.

Die Modellierung mit der Sprache BPMN wurde mit der Software Microsoft Visio 2016 durchgeführt. Tabelle 3 stellt die häufigsten Symbole der Notation dar, die in der Darstellung der Workflows verwendet werden und in den *BPMN Business Process Model and Notation Poster*<sup>62</sup> zusammengestellt werden.

Tabelle 3. Überblick über die BPMN-Notationen

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Task	Ein Task repräsentiert einen einzelnen Prozessschritt oder eine Arbeitseinheit.
	Sende-Task	Sende-Task entspricht einem Task, bei dem eine Nachricht geschickt wird.
	Empfangs-Task	Empfangs-Task entspricht einem Task, bei dem eine Nachricht empfangen wird.
	Sequenzfluss	Stellt die Sequenz von Arbeitsschritten dar. Eine Sequenzflusslinie darf nicht über Participant-Grenzen verlaufen.
	Nachrichtenfluss	Stellt den Fluss von Nachrichten zwischen zwei Beteiligten dar. Diese Linie verläuft über Participant-Grenzen.
	Assoziation	Meistens eine Datenobjekt-Assoziation, zeigt, welche Datenobjekte bzw. -speicher mit dem gegebenen Task assoziiert sind.

<sup>60</sup> International Organization for Standardization: *ISO/IEC 19510:2013*.

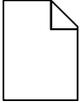
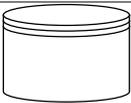
URL: <https://www.iso.org/standard/62652.html> (Zugriff am 24.01.2020)

<sup>61</sup> vgl. BPM&O: *BPM Toolmarktmonitor 2015. Marktübersicht zu BPM Systemen für Prozessautomatisierung*. Studie, 2015.

<sup>62</sup> vgl. Berliner BPM-Offensive: *BPMN Business Process Model and Notation Poster*.

URL: <http://www.bpmb.de/index.php/BPMNPoster> (Zugriff am 13.10.2019)

Tabelle 3 (Fortsetzung). Überblick über die BPMN-Notationen

Symbol	Bezeichnung	Beschreibung
	Startereignis	Ein Startereignis repräsentiert, mit welchem Geschehnis der Gesamtprozess beginnt.
	Zwischenereignis	Ein Zwischenereignis stellt einen Meilenstein bzw. einen definierten Zustand, der erreicht wird, dar.
	Zwischenereignis (throwing)	Ein „throwing“ Zwischenereignis zeigt eine Nachricht, die in der Mitte eines Prozesses gesendet wurde.
	Zwischenereignis (catching)	Ein „catching“ Zwischenereignis zeigt eine Nachricht, die in der Mitte eines Prozesses empfangen wurde.
	Endereignis	Ein Endereignis repräsentiert, mit welchem Geschehnis das Gesamtprozess endet.
	Exclusives Gateway (oder)	Bei einer Verzweigung wird nur eine der möglichen Pfade durchgelaufen.
	Paralleles Gateway (und)	Bei einer Verzweigung werden alle parallelen Pfade durchgelaufen.
	Datenobjekt	Ein Datenobjekt repräsentiert eine Sammlung von projektspezifischen Daten.
	Datenspeicher	In einem Datenspeicher werden sowohl projektspezifische als auch projektübergreifende Daten gespeichert.
	Pool	Pools repräsentieren getrennte Verantwortlichkeiten und Prozessbeteiligte.

## 3 TGA-Abnahme Workflows

Dieser Abschnitt widmet sich einer gründlichen Analyse des bestehenden Prozesses der TGA-Abnahme durch die Örtliche Bauaufsicht. Ziel ist es, die Arbeitsabläufe mit Hilfe der Modellierungssprache BPMN in der Version 2.0 darzustellen. Zuerst erfolgt eine Beschreibung der Methode, um die Prozesse aufzunehmen, nämlich die leitfadengesteuerten Interviews. Anschließend werden die bestehenden Prozesse in Workflow-Diagrammen dargestellt und detailliert erläutert.

### 3.1 Forschungsinstrument: leitfadengesteuerte Interviews

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die leitfadengesteuerten Interviews – das wichtigste Forschungsinstrument in dieser Arbeit, welches zur Prozessevaluierung dient. Die Eigenschaften solcher Interviews sowie die Anwendung dieses Forschungsinstruments werden erläutert.

#### 3.1.1 Forschungsinstrumentbeschreibung

Um Informationen über den aktuellen Stand des Akzeptanzprozesses zu sammeln, wurden qualitative, leitfadengesteuerte Interviews als Forschungsinstrument eingesetzt. Cohen<sup>63</sup> listet die wichtigsten Eigenschaften solcher Interviews auf:

- Das Interview wird in einem formalen, professionellen Umfeld zwischen dem Interviewer und den Befragten durchgeführt.
- Der Interviewer verwendet einen Interviewleitfaden – eine Reihe von Fragen und Themen, die behandelt werden sollen.
- Der Interviewleitfaden ist nicht verbindlich; der Interviewer kann sich dafür entscheiden, vom Leitfaden abzuweichen, wo es zweckmäßig ist. Er kann auch zusätzlichen Themen folgen, die nicht im Leitfaden enthalten sind, die aber vom Befragten erwähnt werden.
- Der Interviewer verwendet Folgefragen und aktive Hörtechniken, um detaillierte Antworten auf seine Fragen zu bekommen.
- Das Interview wird protokolliert; wenn eine Audioaufnahme nicht möglich ist, werden während des Interviews detaillierte Notizen gemacht. Die Aufnahme oder Notizen werden unmittelbar nach dem Interview in ein Besprechungsprotokoll übertragen.

Cohen<sup>64</sup> stellt fest, dass durch die offene Struktur des Interviews die Befragten die Möglichkeit haben, ihre Ansichten und Meinungen zu den vorliegenden Themen frei auszusprechen. Das ermöglicht dem Interviewer, wertvollere Erkenntnisse zu gewinnen.

<sup>63</sup> vgl. Cohen, D., Crabtree, B.: *Qualitative Research Guidelines Project*.

URL: <http://www.qualres.org/HomeSemi-3629.html> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>64</sup> vgl. Cohen D, Crabtree B.: *Qualitative Research Guidelines Project*.

### 3.1.2 Anwendung des Forschungsinstruments

Die Interviews wurden mit Experten aus der Praxis durchgeführt, d.h. mit den Mitarbeitern, die im ÖBA arbeiten und die Ausführung der HKLS- oder Elektroinstallationen überwachen. Die Befragten waren:

- Gruppenleiter HKLS – ÖBA in der Firma *FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH*.
- Gruppenleiter Elektro – ÖBA in der Firma *FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH*.
- Gruppenleiter TGA – ÖBA in der Firma *VASKO+PARTNER INGENIEURE Ziviltechniker für Bauwesen und Verfahrenstechnik GmbH*.

Die Firma FCP<sup>65</sup> ist ein internationales Unternehmen mit mehr als 350 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Die Firma FCP beschäftigt sich mit Dienstleistungen in den Bereichen Planung, statisch-konstruktive Planung, Projektsteuerung, begleitende Kontrolle, statisch-konstruktive Prüfung, Generalplanung, Forschung und BauKG. Die Firma VASKO+PARTNER<sup>66</sup> ist ein international tätiges Ingenieurbüro mit rund 250 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in sieben Ländern. Die Leistungen des Unternehmens umfassen Generalplanung, Projekt- und Kostenmanagement, Tragwerksplanung, Gebäudetechnik, Bauphysik, Ausführungsplanung, Örtliche Bauaufsicht und Brandschutz.

Die wichtigsten Themen, die während der Interviews behandelt wurden, waren:

- Vorstellung des Forschungsprojektes durch den Interviewer
- Vorstellung des Grobkonzepts des AR-Tools für TGA-Abnahme durch den Interviewer
- Grundlagen für die ÖBA: Richtlinien, Normen, interne Dokumente, Projektdokumente, Entscheidungshilfen
- Der Gesamtverlauf des regelmäßigen Abnahme-Prozesses (Ist-Zustand)
- Der Verlauf des förmlichen Übernahme-Prozesses (Ist-Zustand)
- Erstellung des Abnahme-Protokolls (Ist-Zustand)
- Zeitrahmen für den Abnahme-Prozess
- Ineffizienzen und häufigste Probleme bei der Durchführung des Prozesses
- Häufigste Mängel und Fehlerpotentiale in TGA-Ausführung.

Der vollständige Interviewleitfaden ist im Anhang A beigelegt.

Auf der Basis dieser Interviews werden Besprechungsprotokolle erstellt. Aus diesen Protokollen werden die Workflows des Ist-Zustandes der TGA-Abnahme mit der BPMN 2.0-Notation erstellt. Anschließend wurde eine zweite Runde von Interviews durchgeführt, um die Diagramme zu überprüfen und Feedback zu erhalten, um möglichst genaue Workflow-Diagramme zu erstellen. In den folgenden Abschnitten werden die Workflow-Diagramme beschrieben, die als Ergebnis der

---

<sup>65</sup> vgl. FCP: *Profil*. URL: <http://www.fcp.at/de/profil/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>66</sup> vgl. VASKO + PARTNER: *Vasko+Partner der Generalkonsulent*. URL: <https://vasko-partner.at/de/> (Zugriff am 13.10.2019)

Interviews erstellt wurden. Zusätzlich wird eine Liste der wichtigsten Bemerkungen und Folgerungen aus den Interviews vorgestellt

## 3.2 Prozessdarstellung

Die im Rahmen der Interviews über den TGA-Abnahme-Prozess gesammelten Informationen ermöglichten die Erstellung von drei verschiedenen Workflows, welche in den Abschnitten 3.2.1 bis 3.2.3 beschrieben werden. Während sich die ersten zwei auf die laufende Qualitätssicherung konzentrieren, zeigt der Abschnitt 3.2.3 das stark genormte Verfahren der Endabnahme. Die in diesem Kapitel angeführten Workflows wurden auf Basis der Interviews mit den Planungsbüros FCP und Vasko+Partner erstellt.

### 3.2.1 Laufende Qualitätssicherung: Variante 1

Im ersten Workflow wird der Prozess der laufenden Qualitätssicherung ohne den Einsatz von spezialisierter Software analysiert. Das Workflow-Diagramm ist in der Abbildung 21 im Anhang C dargestellt.

#### **Beschreibung der Phase 1: Grundlagenermittlung**

Die erste Phase des TGA-Abnahme-Prozesses findet nach der Vergabe und vor Beginn der Ausführung statt. Ziel dieser Phase ist es, alle Unterlagen zu sammeln, die für eine effiziente Durchführung der laufenden Qualitätskontrolle erforderlich sind. Die Hauptgruppe dieser Unterlagen sind Dokumente, die das Auftragsverhältnis zwischen dem AG und dem AN spezifizieren: Leistungsvertrag (LV), Werkvertrag (WV), Ausführungspläne (vom Planer erstellt) und Montagepläne (von der ausführenden Firma erstellt). Diese Dokumente werden durch den Planer gesammelt und dann weiter an die ÖBA geleitet. Optimalerweise werden diese Unterlagen zusammen mit den Baugenehmigungen mindestens 4 bis 5 Wochen vor Beginn der Ausführung an die ÖBA geschickt. Die Befragten haben jedoch festgehalten, dass eine solche Situation ungewöhnlich ist und der Zeitpunkt der Übermittlung dieser Unterlagen in der Regel viel näher am Baubeginn liegt.

#### **Beschreibung der Phase 2: Baueinleitungsgespräch**

Vor Beginn der Ausführung findet ein Baueinleitungsgespräch statt. Die Teilnehmer dieses Gesprächs sind der AG, der AN und die Gruppenleiter der ÖBA für alle Gewerke. In dieser Besprechung werden die Terminpläne und die Koordination bzw. Organisation der Baustelle, einschließlich des Sicherheits- und Gesundheitsschutzplans (SiGe-Plan), behandelt. Während dieses Gesprächs wird auch ein Bautagebuch erstellt. Die Befragten erklärten, dass sie bei diesem Treffen Hinweise auf die am häufigsten vorkommenden Mängel in der Ausführungsphase geben. Diese Informationen werden informell in mündlicher Form übermittelt und nicht auf Papier zusammengeschrieben. Ziel ist es, den AN über leicht vermeidbare Mängel zu informieren und so Zeit und Kosten zu sparen, die für die Behebung der Mängel notwendig wären.

### **Beschreibung der Phase 3: laufende Qualitätssicherung**

Die in dieser Phase beschriebenen Tätigkeiten bilden einen periodischen Prozess, der sich über den Verlauf der gesamten Ausführungsphase wiederholt. Sie finden in der Regel wöchentlich statt, aber es ist nicht ungewöhnlich, die Zeiten zwischen zwei aufeinanderfolgende Ereignisse für große Baustellen zu verkürzen oder für kleine Baustellen zu verlängern. Die Häufigkeit wird oft nach dem Baustellenfortschritt gewählt, da die ÖBA die TGA-Anlagen und -Leitungen vor der Abdeckung kontrollieren muss. Die regelmäßigen Inspektionen gelten nicht als förmliche Abnahme im Sinne der ÖNORM B 2110 (siehe Abschnitt 2.6.1). Zweck dieser Überprüfungen sind die Kosten-, Termin- und Qualitätskontrolle für den laufenden Bauprozess. Im Zuge der regelmäßigen Baubesprechung werden die Meilensteintermine und -leistungen kontrolliert. Aufgrund der Hinweispflicht informieren die ÖBA-Mitarbeiter den AG, wenn sie der Meinung sind, dass die im Terminplan enthaltenen Termine nicht realistisch sind. Unmittelbar vor oder nach der Baubesprechung erfolgt die örtliche Begehung, in der der ÖBA-Mitarbeiter die gesamte Baustelle besichtigt. Er wird in der Regel nur von einem der Montagearbeiter begleitet. Bei dieser Baustellen-Besichtigung kontrolliert der ÖBA-Mitarbeiter, ob die Ausführung der TGA nach den Normen, Hersteller-Vorgaben und den in Phase 1 gesammelten Unterlagen durchgeführt wurde. Während dieser örtlichen Begehung werden alle festgestellten Mängel fotografiert und in einer Liste eingetragen. Die Befragten erwähnten, dass einige ÖBA-Mitarbeiter es bevorzugen, diese Liste schriftlich zusammenzustellen, während andere Aufnahmen erstellen. Sowohl schriftliche als auch aufgenommene Listen enthalten alle Details der Mängel: den Standort, die Art der Mängel, den Zuständigen für eine Behebung, die Behebungsfrist und alle zusätzlichen Anmerkungen. Die Besichtigung ist abgeschlossen, sobald alle Mängel in einer Liste eingetragen sind. Zurück im Büro überträgt der ÖBA-Mitarbeiter die Fotos und Audio-Aufnahmen mit einem USB-Kabel auf den Rechner. Anschließend werden die in der Baustelle gesammelten Informationen an interne Mitarbeiter weitergegeben, die ein Qualitätskontrolle-Protokoll erstellen. Dieses Protokoll ist im Microsoft-Word-Format .docx erstellt und enthält alle Fotos von Mängeln mit entsprechenden Beschriftungen, die während der Besichtigung aufgenommen wurden.

Sobald das Qualitätskontrolle-Protokoll fertig ist, wird es auf einem ÖBA-internen Server freigegeben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist jedes Projekt auf diesem Server mit einer eindeutigen Projektnummer gekennzeichnet. Der Mitarbeiter, der die örtliche Begehung durchgeführt hat, wird per E-Mail über die Fertigstellung des Protokolls informiert und überprüft die Vollständigkeit und Richtigkeit des Protokolls. Alle Änderungen werden in der geteilten Datei auf dem Server vorgenommen. Nach der Korrektur des Protokolls wird es per E-Mail an alle Beteiligten einschließlich dem AG, der Projektleitung und der ausführenden Firma gesendet. Zu Organisationszwecken steht die individuelle Projektnummer immer im Betreff der E-Mail. In den meisten Fällen ist die Lesebestimmung nicht erforderlich, außer die Folgerungen aus dem Protokoll sind von besonderer Bedeutung. Die ausführende Firma hat eine bestimmte Frist zum Widerspruch (typischerweise bis zu sieben Tage). Tritt ein Widerspruch auf, wird dieser entweder per E-Mail kommuniziert oder in der nächsten wöchentlichen Baubesprechung diskutiert. Die Interviewpartner haben jedoch erwähnt, dass Widersprüche nur selten vorkommen. Sobald alle umstrittenen Punkte abgeklärt sind, wird das Qualitätskontrolle-Protokoll dem Protokoll aus der jeweiligen Baubesprechung beigelegt. In der Regel sollte die ÖBA jedes Mal informiert werden, wenn eine Mangelbehebung erledigt wird. Laut den Befragten

informieren die Beteiligten nicht über jede Mangelbehebung per E-Mail, die Freimeldung erfolgt jedoch zum Zeitpunkt der nächsten Baubesprechung.

#### **Beschreibung der Phase 4: Vorbereitung zur förmlichen Abnahme**

Nachdem die im Vertrag vereinbarte Leistung erbracht ist, erfolgt eine Fertigstellungsmeldung. Der AN muss nachweisen, dass die Leistung erfolgreich abgeschlossen ist und die Abnahme-Unterlagen übermitteln. Zu diesen Unterlagen gehören:

- Bestandspläne
- Prüfdokumentation (Prüfprotokolle wie z.B. Inbetriebnahmeprotokolle, Anlagen-dokumentation und die Auswertung des Probetriebs)
- Atteste
- Behördlich angeforderte Dokumente
- Andere Dokumente, die von der ÖBA beim Baueinleitungsgespräch angefordert werden.

Das Format der Bestandspläne ist vertraglich geregelt. Je nach Vertrag können es 2D-Pläne (z.B. eine CAD-Datei, .pdf-Datei) oder BIM-Modelle (z.B. Revit-Datei) sein. Vor Beginn des förmlichen Abnahmeprozesses laut ÖNORM B 2110 müssen diese Dokumente zusammengestellt und der ÖBA freigegeben werden. Der Dateitransfer erfolgt entweder über einen Cloud-Server oder über eine Festplatte. Danach beginnt die förmliche Abnahme; dieser Prozess wird im Abschnitt 3.2.3 beschrieben.

#### **3.2.2 Laufende Qualitätssicherung: Variante 2**

Neben dem zuvor vorgestellten Workflow wird hier der Workflow für die laufende Qualitätssicherung mit der Verwendung der Software ConjectMI<sup>67</sup> beschrieben. Das Workflow-Diagramm ist in Abbildung 22 im Anhang C dargestellt.

Das Baueinleitungsgespräch, wie in Abbildung 21 dargestellt, erfolgt nicht bei jeder Baustelle. In dieser Workflowvariante wird daher der Prozess ohne ein Baueinleitungsgespräch und die Vorbereitung zur förmlichen Abnahme in Abbildung 22 dargestellt.

#### **Beschreibung der Phase 1: Grundlagenermittlung**

Die Phase der Grundlagenermittlung unterscheidet sich nicht von Variante 1. Sie findet vor Beginn der Bauarbeiten statt und stellt sicher, dass alle Unterlagen wie WV, LV, Ausführungs- und Montagepläne ausreichend schnell an die ÖBA übermittelt werden.

#### **Beschreibung der Phase 2: Abnahmevorbereitung**

Wenn die Dokumente aus der Phase der Grundlagenermittlung bei der ÖBA eintreffen, müssen sich die Mitarbeiter auf die laufenden Qualitätskontrollen vorbereiten. Zuerst wird im Portal ConjectMI ein neues Projekt eröffnet. Alle erhaltenen Dokumente werden auf den Server hochgeladen. Relevante Normen-Auszüge werden ebenfalls auf dem gleichen Server gespeichert.

<sup>67</sup> ConjectMI: *Manage defects on your construction projects*. URL: <http://www.conjectmi.net/> (Zugriff am 13.10.2019)

Der Befragte bemerkte, dass vor jeder Inspektion darauf zu achten ist, dass die ÖBA-Mitarbeiter den aktuellsten Stand der Montagepläne zur Verfügung gestellt bekommen. Das ist von großer Bedeutung, weil sich die Pläne in der Ausführungsphase oft ändern.

Standardisierte Vorlagen werden verwendet, um den Prozess der laufenden Qualitätskontrolle zu erleichtern. Diese Vorlagen werden in einer vom Projektumfang abhängigen Anzahl gedruckt. Während der Interviews hat der Befragte zwei Arten von Vorlagen festgelegt. Die ersten sind interne Checklisten, die sich für jeden Typ von Anlagen unterscheiden. Sie sind z.B. bei der Überprüfung der ordnungsgemäßen Installation und Funktionalität einer Aufzugsanlage von Bedeutung. Die zweite Vorlage sind standardisierte Deckblätter. Diese werden ebenfalls für die detaillierte Funktionsprüfung und -messung von technischen Einrichtungen verwendet. Sie werden typischerweise vor der örtlichen Begehung ausgedruckt und nach der Begehung gescannt bzw. an das endgültige Qualitätskontrolle-Protokoll angehängt.

### **Beschreibung der Phase 3: laufende Qualitätssicherung**

Diese Phase entspricht der identisch benannten Phase im Workflow-Diagramm der Variante 1. Der Ablauf unterscheidet sich durch den Einsatz der spezialisierten Software, die den Prozess unterstützt und teilweise automatisiert. Wie in der ersten Variante ist die laufende Qualitätssicherung ein periodischer Prozess, der sich über die gesamte Ausführungsphase wiederholt. Ziel der regelmäßigen (meist wöchentlichen) Inspektionen ist nicht eine förmliche Abnahme im Sinne der ÖNORM B 2110 (siehe Abschnitt 2.6.1), sondern eine Kosten-, Termin- und Qualitätskontrolle in dem laufenden Prozess. Der erste Teil der wöchentlichen Inspektionen sind die Baubesprechungen, die sich vor allem mit der Termin- und Fortschrittskontrolle beschäftigen. Der Meilensteinplan wird geprüft und aktualisiert. Die Qualitätskontrolle erfolgt im Zuge der Sonderbegehungen (örtliche Begehungen). Diese können unmittelbar vor oder nach der Baubesprechung erfolgen. Bei großen Baustellen ist es nicht ungewöhnlich, dass die ÖBA-Mitarbeiter ständig am Standort anwesend sind. In diesen Fällen werden die umfangreichen Überprüfungen durch häufigere und auf bestimmte Leistungen gezielte Inspektionen ersetzt. Die örtliche Begehung ist eine Besichtigung der gesamten Baustelle durch einen ÖBA-Mitarbeiter. Es wird geprüft, ob die Ausführung der TGA-Vorrichtungen und Leitungen den Normen, Herstellerangaben und den in Phase 1 gesammelten Unterlagen entspricht. Während der örtlichen Begehung hat der ÖBA-Mitarbeiter immer ein Tablet mit Zugriff auf den gemeinsamen Server dabei. Mit diesem Gerät kann er jederzeit auf alle relevanten Informationen zugreifen: die Pläne, die vertraglichen Grundlagen, Normen und Vorgaben bzw. Informationen über Mängel, die bei der vorherigen Inspektion erfasst wurden. Wenn der ÖBA-Mitarbeiter auf der Baustelle einen neuen Mangel findet, wird dieser protokolliert. Zuerst wird der Standort auf den Plänen mit einem Pin markiert und ein neuer Mangleintrag in der Portal generiert. Alle zusätzlichen Informationen (ein Foto des Mangels, eine ausführliche Beschreibung, die Behebungsfrist und der Zuständige) sind dann diesem Mangleintrag beigefügt. Diese Prozedur wird für alle bei der Inspektion festgestellten Mängel wiederholt. Die Besichtigung ist abgeschlossen, sobald alle Mängel in einer Liste eingetragen sind. Zurück im Büro wird die ConjectMI-Software über WLAN synchronisiert und die Mängelliste unmittelbar aktualisiert. Ein Protokoll der Besichtigung wird automatisch in der ConjectMI Software generiert. Die Protokolle sind interaktive Listen, die frei nach Gewerk, Zuständigkeit oder Behebungsfrist gefiltert werden können. Diese Protokolle dienen auch als

Fortschrittsdokumentation und werden mit einer vertraglich festgelegten Häufigkeit (meist wöchentlich, zweiwöchentlich oder monatlich) an den AG weitergeleitet. Die Qualitätskontrolle-Protokolle werden dann an die ausführenden Firmen gesendet. Je nachdem, ob die Firma einen Zugriff auf das ConjectMI-Portal hat, stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Wenn der Zugriff vorhanden ist, kann die ausführende Firma direkt über die Software mit der Mängelliste arbeiten. Die Mangelbehebung wird direkt in der Software gemeldet (mit einem Beweisfoto als Anhang). Bei der nächsten örtlichen Begehung prüft der ÖBA-Mitarbeiter, ob der Mangel tatsächlich behoben wurde, und markiert ihn im Portal als freigegeben. Ist der Zugriff auf das ConjectMI-Portal nicht vorhanden, werden die Protokolle als .pdf-Dateien exportiert und per E-Mail an alle Beteiligten versendet. Die Meldung der Mangelbehebung erfolgt ebenfalls per E-Mail. Bei der nächsten örtlichen Begehung prüft der ÖBA-Mitarbeiter, ob der Mangel tatsächlich behoben wurde und markiert ihn im Portal als freigegeben.

### 3.2.3 Förmliche Abnahme

Der dritte Workflow zeigt die förmliche Abnahme gemäß der ÖNORM B 2110. Dieser Prozess findet (im Gegensatz zur laufenden Qualitätssicherung) nur einmal am Ende der Ausführungsphase statt. Das Workflow-Diagramm ist in der Abbildung 23 im Anhang C dargestellt.

#### Beschreibung der Phase 1: Fertigstellungsmeldung

Der erste Teil der förmlichen Abnahme beginnt, wenn der AN offiziell bekannt gibt, dass er die vertraglich vereinbarten Leistungen erbracht hat. Die ÖBA verlangt vom AN den Nachweis der vertraglich vereinbarten Prüfungen. Diese Prüfungen lassen sich in Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung und Funktionsmessung laut LB-HT 07 (siehe Abschnitt 2.6.2) unterteilen. Die Nachweise sind in schriftlicher Form zu übermitteln und müssen die folgenden Dokumente enthalten:

- Prüfprotokolle wie z.B. Inbetriebnahmeprotokolle
- Anlagendokumentation
- Auswertung des Probebetriebs
- Atteste
- Behördlich angeforderte Dokumente
- Andere Dokumente, die von der ÖBA beim Baueinleitungsgespräch angefordert werden.

Vor Beginn der behördlichen Abnahme besucht die ÖBA die Baustelle nochmals, um eine Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung und stichprobenartige Funktionsmessung durchzuführen.

#### Beschreibung der Phase 2: behördliche Abnahme

Um mit den Bauarbeiten zu beginnen, muss der AG eine Baugenehmigung bzw. eine Betriebsgenehmigung von der Behörde erhalten. Anhand dieser Dokumente wird in dieser Phase überprüft, ob die TGA-Anlagen alle baupolizeilichen Vorschriften erfüllen. Während der behördlichen Endabnahme überprüft ein zuvor ausgewählter Prüfingenieur die Einhaltung aller Normen und Vorgaben. Es ist nicht ungewöhnlich, dass mehrere Sachverständige die Baustelle

besuchen, um verschiedene Anlagen, z.B. die Brandmeldeanlage (BMA) oder die Sprinkleranlage, zu überprüfen. Am Ende der behördlichen Abnahme bestätigt der Prüferingenieur die Benutzungsbewilligung.

### **Beschreibung der Phase 3: Endabnahme**

Der dritte und letzte Teil des förmlichen Abnahmeprozesses ist die Abnahme durch den AG, in der die Erfüllung des Vertrages überprüft und bestätigt wird. Sie wird durch die ÖNORM B 2110 geregelt. Der Prozess selbst ist vergleichbar mit der laufenden Qualitätssicherung: die Vollständigkeitsprüfung, Funktionsprüfung und stichprobenartige Funktionsmessung werden durchgeführt. Während dieser Abnahme wirkt die ÖBA nur als Vertretung für die Überprüfung durch den AG.

In dieser Phase werden alle Mängel im Sinne der BBR-Definition (siehe Abschnitt 2.1.1) identifiziert und im Endabnahmeprotokoll aufgelistet. Die Mängel, die beseitigt werden können, erhalten eine Behebungsfrist, die übrigen werden als Qualitätsminderung betrachtet.

Das Endabnahmeprotokoll soll die folgenden Punkte enthalten:

- Datum und Ort der Endabnahme
- Eine Liste aller festgestellten Mängel und deren Behebungsfristen
- Eine Liste aller Leistungen, die nicht abgenommen wurden, mit Begründung
- Unterschriften aller Beteiligten.

### **3.3 Zusätzliche Anmerkungen**

Im Laufe der Interviews haben die Befragten zusätzliche Kommentare und Erkenntnisse mitgeteilt. Diese Kommentare sind zwar keine Beschreibung des TGA-Abnahme-Workflows, geben aber einen guten Einblick in die Praxis der ÖBA-Mitarbeiter. Deshalb ist es wichtig, diese Erkenntnisse bei der Entwicklung eines AR-Tools zu berücksichtigen, um sicherzustellen, dass es für die vorgesehenen Benutzer am hilfreichsten ist. Alle diese Anmerkungen wurden bewusst anonymisiert.

**Förmliche Abnahme unterscheidet sich von der laufenden Qualitätssicherung.** Die ÖNORM B 2110 verwendet den Begriff „Übernahme“ nur für die Endkontrolle der Leistung, die zum Beginn der Gewährleistungsfrist führt. In der Praxis ist jedoch zwischen dieser Übernahme und Abnahme – einem laufenden Prozess, der mit einer regelmäßigen Überprüfung der Qualität der erbrachten Leistung verbunden ist – zu unterscheiden.

**Abnahme ist ein fließender Prozess.** Besonders bei großen Bauprojekten ist die Abnahme ein Prozess, der nicht immer strukturiert und geordnet abläuft. Die ÖBA-Mitarbeiter besuchen die Baustelle nicht nur in vordefinierten Zeitfenstern zur Kontrolle der Arbeiten, sondern sind täglich vor Ort. Daher muss das AR-Tool diese Kontinuität des Prozesses widerspiegeln.

**Viel Wissen wird zwischen den Beteiligten nur mündlich vermittelt.** Insbesondere bei dem Unternehmen FCP, in dem keine spezialisierte Software verwendet wird, ist es ein häufiges

Problem, dass Informationen nicht aufgeschrieben werden. So hat beispielsweise jeder ÖBA-Mitarbeiter im Laufe der Jahre Erfahrungen gesammelt, was die häufigsten Mängel auf der Baustelle sind. Diese Informationen werden der ausführenden Firma nicht in schriftlicher Form zur Verfügung gestellt. Ein weiteres Beispiel für den fehlenden Informationsfluss in schriftlicher Form ist die Meldung der Mangelbehebung. Theoretisch soll die ausführende Firma immer mitteilen, dass ein vorhandener Mangel behoben wurde. In der Praxis wird es oft nur in der wöchentlichen Baubesprechung berichtet.

**Die Hände frei zu halten, ist ein wichtiges Thema.** Die ÖBA-Mitarbeiter haben mitgeteilt, dass die Menge an Equipment, die sie zur Baustelle mitnehmen, oft extrem hoch ist und nicht viel Platz für zusätzliche Geräte lässt. Darüber hinaus erlauben die Sicherheitsvorschriften oftmals nicht, die Baustelle mit dem Handy in der Hand zu betreten. Daraus lässt sich schließen, dass AR-Headsets auf der Baustelle einen Vorteil gegenüber tragbaren Geräten haben.

**Es ist schwierig, neue Mängel auf einer gut bekannten Baustelle zu erkennen.** Die ÖBA-Mitarbeiter haben erwähnt, dass es bei wiederholten Besuchen derselben Baustelle schwierig ist, alle verschiedenen Mängel zu erkennen, die bisher übersehen werden konnten. Deshalb kommt es manchmal vor, dass sie mit ihren Mitarbeitern „tauschen“: sie kommen zu einer fremden Baustelle, um sie mit frischem Blick zu betrachten und dadurch mehr Mängel zu identifizieren. Dieser „Tausch“-Prozess muss im AR-Tool erlaubt sein.

**Überlagerung von Realität und Plänen wird als interessant empfunden.** Alle Befragten haben Interesse und Begeisterung gezeigt, wenn ihnen einige exemplarische Anwendungen der AR im Abnahme-Prozess vorgestellt würden. Sie stimmten darin überein, dass ein solches Tool zeitsparend sein würde und äußerten Interesse daran, Early Adopters zu werden. Darüber hinaus äußerten sie ihre Dankbarkeit für die Mitarbeit in einem solchen Forschungsprojekt. Diese Denkweise zeigt, dass die Barriere für die Einführung von Technologien relativ gering ist.

**Koordination zwischen Abteilungen ist problematisch.** Das gilt insbesondere für die Firma FCP, die ihre Arbeit nicht über eine spezialisierte Software koordiniert. Die Befragten erwähnten, dass es oft schwierig ist, sich zwischen Abteilungen wie HKLS, Elektro, Trockenbau usw. abzustimmen. Ein typisches Beispiel dafür ist, dass der Großteil der Kommunikation nur mündlich in den wöchentlichen Baubesprechungen und nicht in Echtzeit stattfindet, wenn es nötig ist.

**Derzeit gibt es mehr Akzeptanz für ein Tablet-PC als für ein Headset.** Ein Tablet-PC mit allen notwendigen Unterlagen (Leistungsverzeichnis, alle Pläne und Normen, Werksvertrag usw.) sowie das AR-Tool wurde als hilfreicher als ein Headset empfunden. Die Befragten konnten sich nur schwer vorstellen, wie die Dokumentation auch im Headset gespeichert und einsehbar sein könnte.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 4 Mängelklassifizierung in der TGA

Abschnitt 3 zeigt, dass die örtliche Begehung der wichtigste und zeitaufwendigste Teil des Abnahmeprozesses ist. Jeder Mangel muss vom ÖBA-Mitarbeiter gefunden bzw. so gekennzeichnet und beschrieben werden, dass der verantwortliche Beteiligte den Mangel sofort identifizieren kann. Diese Beschreibung soll aber in HMD nicht durch eine Eingabe von freien Texten über die Tastatur erfolgen, da dies nach dem „gaze-and-dwell“ Prinzip erfolgt und daher zu aufwendig ist (siehe Abschnitt 2.4.1). Deshalb ist eines der Ziele dieser Diplomarbeit die Erfassung der häufigsten Mängel für bestimmte TGA-Bauteile auf der Baustelle, um eine Gliederung der Mängel in Kategorien vorzuschlagen. Diese Klassifizierung wird für die Erstellung des AR-Tools von großem Vorteil sein: Sie kann in das AR-Tool aufgenommen werden, um automatische Listen mit Mängelvorschlägen für jedes Element, das als mangelhaft markiert wird, anzubieten.

In den Interviews mit den in Abschnitt 3.1.2 aufgeführten Befragten wurden diese nach den häufigsten Mängeln und Fehlerpotentialen in der TGA-Ausführung befragt. Ihre Antworten und exemplarischen Mängellisten aus realen Projekten dienen als Grundlage für die in Abschnitt 4.1 vorgeschlagene Klassifizierung der Mängel.

### 4.1 Methode der Mängelklassifizierung

In den Interviews mit den Experten wurde festgestellt, dass jede Art von Bauelement mit charakteristischen Mängelkategorien assoziiert werden kann. Darüber hinaus sind einige dieser Mängelkategorien für mehr als eine Gruppe von Bauelementen typisch. Auf der Grundlage dieser Vorstellungen wurde von der Autorin dieser Arbeit entschieden, dass die Methode zur Klassifizierung von Defekten in drei Schritten zusammengestellt wird. Diese Schritte sind exemplarisch für eine Gruppe von Bauelementen in Abbildung 12 dargestellt. Der erste Schritt ist die Einteilung aller TGA-Elemente in Gruppen nach dem IFC-Standard. Die Aufteilung der Elemente wird im Abschnitt 4.2 erläutert. Der zweite Schritt ist die Gruppierung aller möglichen Mängel in Kategorien (die sogenannte grobe Unterteilung). Die vorgeschlagenen Kategorien werden in Tabelle 9 im Anhang D eingeführt und im Abschnitt 4.3 beschrieben. Der dritte und letzte Schritt ist die Erstellung von detaillierten Listen der häufigsten Mängel für jede Bauelement-Klasse und jede Mängel-Kategorie (die sogenannte Feinunterteilung). Ein beispielhafter Überblick über diese Listen ist im Abschnitt 4.4 zu finden.

Die am häufigsten vorkommende Mängelkategorien für verschiedene Arten von TGA-Komponenten sind in der Tabelle 9 im Anhang D dargestellt.

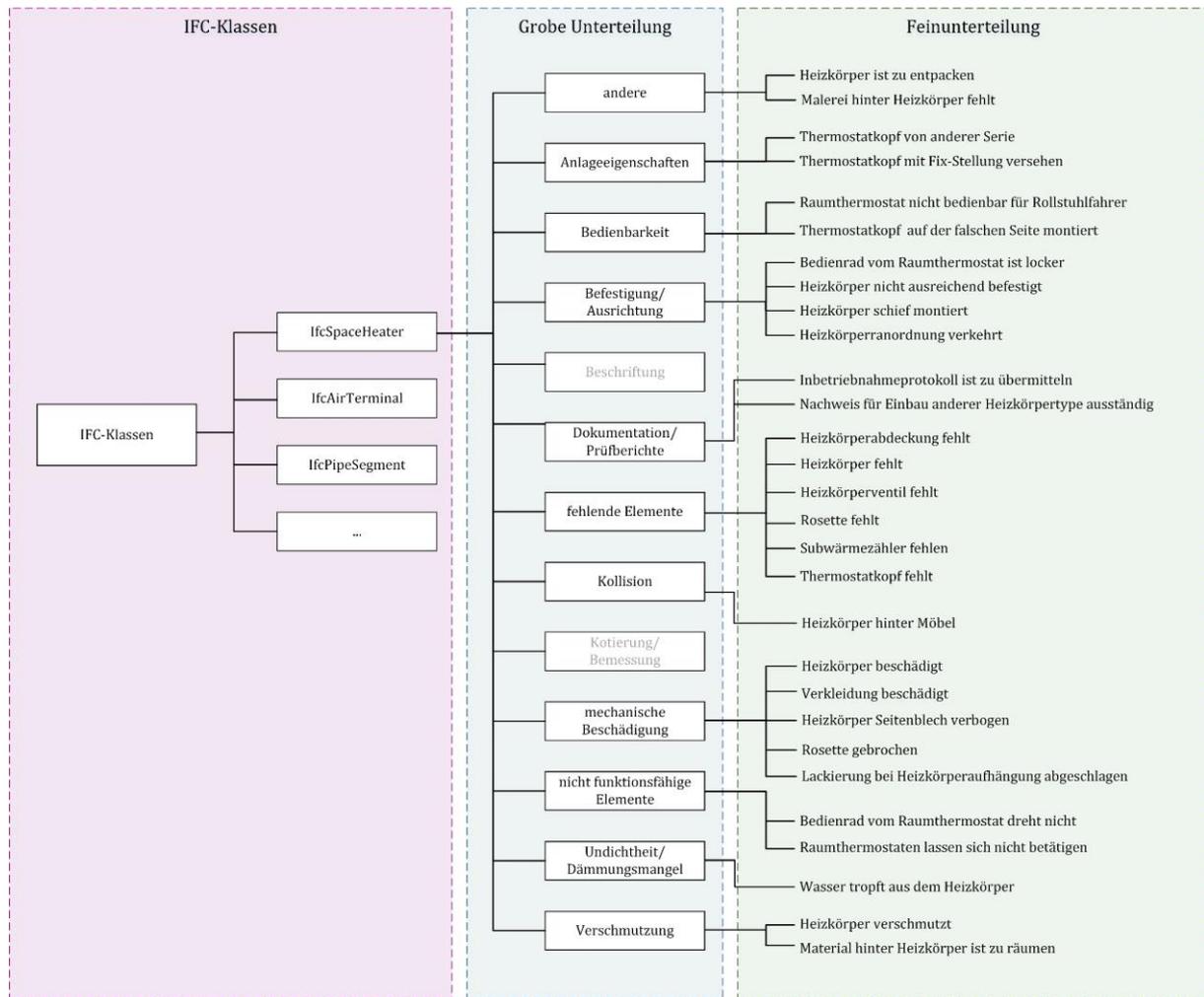


Abbildung 12. Methode der Mängelklassifizierung

## 4.2 Elementenklassifizierung nach IFC-4

Die BIM-Modelle, die in die ARIOT-Plattform hochgeladen werden, basieren auf dem kollaborativen IFC-Format (siehe auch Abbildung 11). Daher sollte das AR-Tool so strukturiert sein, dass Elemente verschiedener IFC-Klassen unterschiedlich ausgewählt werden können und somit auch unterschiedliche Mängel zugeordnet werden können. In Tabelle 9 im Anhang D sind alle IFC-Klassen zusammengefasst, die entweder zur Gebäudeautomation oder zur TGA gehörende Elemente beschreiben. Diese Klassifizierung wird in der IFC-4-Add-2-Spezifikation<sup>68</sup> beschrieben.

### 4.2.1 IfcDistributionElement

Praktisch alle TGA-Elemente gehören zum IFC-Supertyp *IfcDistributionElement* – eine generalisierte Klasse aller Elemente, die an einem Verteilungssystem teilnehmen. Die IFC-4-Add-2-Spezifikation<sup>69</sup> listet typische Beispiele für *IfcDistributionElement* auf:

<sup>68</sup> buildingSMART: *Industry Foundation Classes Specification, Version 4, Addendum 2.*

URL: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/> (Zugriff am 13.10.2019)

<sup>69</sup> buildingSMART: *Industry Foundation Classes Specification, Version 4, Addendum 2.*

- TGA-Elemente innerhalb einer Heizungsanlage
- TGA-Elemente innerhalb eines Kühlsystems
- TGA-Elemente innerhalb einer Lüftungsanlage
- TGA-Elemente innerhalb eines Sanitärsystems
- Elektrische Elemente
- Elemente innerhalb eines Kommunikationsnetzes.

Alle Elemente dieses Supertyps können einer von zwei IFC-Klassen zugeordnet werden: entweder *IfcDistributionControlElement* oder *IfcDistributionFlowElement*.

Der wesentliche Unterschied zwischen diese beiden Klassen besteht darin, ob ein Element intern oder extern zum Flow-System gehört. Eine Vorrichtung, die sich innerhalb des von ihr gemessenen Strömungssystems verbindet (mit Ein- oder Auslassleitungen für die gemessene Substanz), ist als *IfcDistributionFlowElement* definiert. Andererseits, wenn ein Element das Strömungssystem überwacht bzw. steuert, aber nicht inline innerhalb des Flow-Systems verbunden ist (es ist extern oder gehört zu einem anderen Gerät), dann ist es als *IfcDistributionControlElement* definiert.

#### 4.2.2 IfcDistributionControlElement

Die IFC-Klasse *IfcDistributionControlElement* beinhaltet alle Komponenten der Gebäudeautomation, die verwendet werden, um die Kontrolle über Elemente eines Verteilersystems zu gewährleisten. Dazu gehören u.a. alle Regler, Messinstrumente und Sensoren, die benutzt werden, um Variablen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Druck, Durchfluss, Leistung oder Beleuchtungsniveau durch Modulation oder Sequenzierung von mechanischen oder elektrischen Vorrichtungen aufrechtzuerhalten.

#### 4.2.3 IfcDistributionFlowElement

Die Klasse *IfcDistributionFlowElement* definiert Elemente eines Verteilersystems, die die Verteilung von Energie oder Materie, wie Luft, Wasser oder Strom, ermöglichen. Es umfasst alle Elemente, durch die sich Materie bewegen kann, aber auch die Vorrichtungen, die den Fluss regulieren und alle Verbindungen, Speicherelemente als auch Ein- und Auslässe.

#### 4.2.4 IfcBuildingElementProxy

Oftmals werden Elemente der TGA aus Versehen nicht in die richtige Klasse eingeordnet. Es kann auch vorkommen, dass die native Modellierungssoftware bestimmte Elemente nicht korrekt exportiert. Nicht identifizierte Elemente gehören in diesem Fall zur Klasse *IfcBuildingElementProxy*, in der sie keine vordefinierte Bedeutung des speziellen Typs von Bauteilen haben. Diese Klasse kann auch als räumlicher Platzhalter für Elemente verwendet werden, die in der Planungsphase nicht ausreichend definiert sind. Aufgrund der umfangreichen Bedeutung dieser Klasse können alle zu ihr gehörenden Elemente mit jedem möglichen Defekt gekennzeichnet werden, da diese Elemente praktisch jedes Bauteil darstellen können.

### 4.3 Mängelklassifizierung – grobe Unterteilung

Die Bauteile liegen als IFC-Klassen im BIM-Modell vor. Den Klassen können so Kategorien von Mängel zugeteilt werden. Diese Zuweisung von Kategorien von Mängel für die wesentlichen TGA-Bauteile ist im Anhang D ersichtlich. Nachfolgend werden die Kategorien folgendermaßen definiert:

**Anlageeigenschaften:** Bei der Funktionsprüfung und Funktionsmessung kann sich ergeben, dass die vorhandenen Anlagen nicht vertrags- und bestimmungsgemäß funktionieren. In diesem Fall werden die Anlagen als mangelhaft gekennzeichnet. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Normvolumenstrom durch die Solaranlage zu gering
- Zuluftnachströmung laut Montageplan nicht gewährleistet
- Potentialausgleich mangelhaft.

**Bedienbarkeit:** Alle Anlagen, die vom Hauptbenutzer bedient werden, sollten für alle Personen zugänglich und bedienbar sein (Thema Barrierefreiheit ist hier von besonderer Bedeutung). Technische Geräte, wie Pumpen oder Kessel, sind so zu installieren, dass sie für den technischen Betreiber zugänglich sind. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Heizkörper-Thermostatkopf auf der falschen Seite montiert und dadurch nur eingeschränkt bedienbar bzw. nicht tauschbar
- Raumthermostat in einer Höhe montiert, die nicht für Rollstuhlfahrer bedienbar ist
- Behinderten-WC falsch gekennzeichnet.

**Befestigung/ Ausrichtung:** Dieser Fehler tritt jedes Mal auf, wenn ein Bauteil nicht richtig befestigt ist (entweder ist die Befestigung nicht ausreichend oder es wurden falsche Verbindungsmittel verwendet). Zusätzlich sind hier alle Elemente, die schräg oder verdreht montiert sind, als zu korrigieren gekennzeichnet. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Verkabelung nur provisorisch hergestellt
- Eckventil oder Armatur nicht ausreichend befestigt
- Kollektoren nachjustieren (nicht in einer Linie montiert).

**Beschriftung:** Alle Elemente sind wie im Vertrag oder in der Norm festgelegt zu beschreiben. Wenn eine Beschreibung fehlt, wird dieser Mangel auf dem Objekt markiert. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Beschriftung Fußbodenheizverteiler zu ergänzen
- Gasleitung entsprechend den Richtlinien gelb zu markieren
- Prüfplakette der Hydranten fehlt.

**Dokumentation/ Prüfberichte:** Alle Anlagen sollten mit der entsprechenden technischen Dokumentation geliefert werden. Zusätzlich ist bei Bedarf der Nachweis von durchgeführten Funktionsprüfungen und Funktionsmessungen zu erbringen. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Nachweis über den hydraulischen Abgleich der Fußbodenheizung fehlt
- Spül-, Druckproben-, Einregulierungsprotokolle fehlen
- Nachweis über saubere Filter bei Lüftungsanlage fehlt.

**Funktionsstüchtigkeit:** Ein Element, das eine bestimmte Funktionalität hat, funktioniert falsch oder gar nicht. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Zirkulation nicht in Betrieb
- Kein Wasser für das Funktionskontrollen vorhanden
- Multisensor für Beleuchtung funktioniert nicht.

**Kollision:** Diese Mängelart erscheint, wenn zwei Elemente so positioniert sind, dass sie miteinander kollidieren. Es ist auch zu markieren, wenn ein Element an einer falschen Stelle platziert wird, was dazu führt, dass es mit einem später einzubauenden Element kollidiert. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Tür kann nicht vollständig geöffnet werden (Kollision mit Waschbecken)
- Heizkörper hinter Möbel montiert
- Lüftungskanal bei Fluchtweg zu niedrig.

**Mechanische Beschädigung:** Wenn ein Element bereits in der Bauphase beschädigt wird, wird es als mangelhaft gekennzeichnet und muss entweder ausgetauscht oder saniert werden. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Heizkörper Seitenteile/ Verkleidung beschädigt
- DKM-Glas gebrochen
- Risse sind zu sanieren.

**Planungsabweichung:** Ein Element wird nicht nach Plan eingebaut (entweder wegen falscher Abmessungen, Nichteinhaltung der Position im Plan oder der Höhe, in der es montiert ist). Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Bohrungen für Deckenlampen nicht nach Plan
- Position falsch (nicht nach Plan)
- Rohrdurchmesser falsch (nicht nach Plan).

**Undichtigkeit/ Dämmungsmangel:** Die Leitungen sind nicht dicht genug, was zu Leckagen führen kann. Diese Kategorie umfasst auch alle mit der Isolierung verbundenen Probleme wie fehlende Isolierung, Undichtigkeiten oder inkorrekte Dämmdicke. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Wärmedämmung punktuell zu ergänzen
- Wasserleitung undicht
- Dämmung Kombiauslässe in unterschiedlichen Dämmstärken.

**Verschmutzung:** Diese Art von Mängel ist in der Regel nur während der förmlichen Übernahme gekennzeichnet. Alle verschmutzten Elemente und alle Bereiche, die nach der Bauzeit nicht aufgeräumt wurden, sind zu reinigen. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Solarkollektoren müssen gereinigt werden
- Reinigung Hohlraum unter Bodendose mangelhaft
- Restmaterialen sind zu entfernen.

**Vollständigkeit:** Eine der häufigsten Arten von Mängeln; tritt auf, wenn einige Elemente auf dem Plan vorhanden sind, aber auf der Baustelle fehlen. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Internetanschluss nicht vorhanden
- Rosetten bei den Heizkörpern sind zu ergänzen
- Tellerventil fehlt.

**Sonstige:** Diese Kategorie umfasst alle Mängel, die nicht in eine der oben angegebenen Kategorien eingeordnet werden können. Da diese Art eines Mangels offen ist, können alle Bauteile mit dieser Art von Mangel gekennzeichnet werden. Zu dieser Kategorie gehören z.B. die folgenden Mängel:

- Übertragung der Vibrationen auf die Gasleitung bzw. über die Rohrleitungsbefestigungen auf die Betonwand beim Schwachlastbetrieb
- Anschlüsse für Kalt- und Warmwasser beim Waschbecken vertauscht
- Malerei hinter Heizkörper fehlt.

### 4.4 Mängelklassifizierung – feine Unterteilung

Die dreizehn im Abschnitt 4.3 eingeführten Mängelkategorien zeigen die universelle Art der Unterteilung. Das AR-Tool muss jedoch die einzelnen Fehler genauer beschreiben. Der Grund dafür ist, dass das AR-Tool ein Headset statt eines Handheld-Tablets verwendet, was das Eingeben von Texten schwerfällig macht. Deshalb sollte fast jede Art von Mangel aus einer Liste wählbar sein. Tabelle 4 zeigt stichprobenartig die detaillierte Einteilung der Mängel für die IFC-Klasse IfcSpaceHeater, weitere Einteilungen für andere Klassen sind im Anhang E enthalten. Die Mängel wurden aus den exemplarischen Mängellisten aus realen Projekten ausgewählt und organisiert. Eine weitere Quelle für mögliche Mängelbeispiele waren die im Abschnitt 2.6 beschriebenen Normen. Die Beschreibungen der einzelnen Defekte können direkt an das AR-Tool als Auswahlmöglichkeit weitergegeben werden. Diese Beschreibungen werden dann je nach Auswahl des Ifc-Element bei der Mangelauswahl dargestellt.

Tabelle 4. IfcSpaceHeater Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Heizkörper</i> IfcSpaceHeater	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Thermostatkopf von anderer Serie Thermostatkopf mit Fix-Stellung versehen
<b>Bedienbarkeit</b>	Raumthermostat nicht bedienbar für Rollstuhlfahrer Thermostatkopf auf der falschen Seite montiert
<b>Befestigung/Ausrichtung</b>	Bedienrad vom Raumthermostat ist locker Heizkörper nicht ausreichend befestigt Heizkörper schief montiert Heizkörperanordnung verkehrt
<b>Beschriftung</b>	–
<b>Dokumentation/Prüfberichte</b>	Inbetriebnahmeprotokoll ist zu übermitteln Nachweis für Einbau anderer Heizkörpertypen ausständig
<b>Funktionsstüchtigkeit</b>	Bedienrad vom Raumthermostat dreht nicht Raumthermostate lassen sich nicht betätigen
<b>Kollision</b>	Heizkörper hinter Möbel
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Heizkörper beschädigt Verkleidung beschädigt Heizkörper-Seitenblech verbogen Rosette gebrochen Lackierung bei Heizkörperaufhängung geschlagen
<b>Planungsabweichung</b>	–
<b>Undichtigkeit/Dämmungsmangel</b>	Wasser tropft aus dem Heizkörper
<b>Verschmutzung</b>	Heizkörper verschmutzt Material hinter Heizkörper ist zu räumen
<b>Vollständigkeit</b>	Heizkörperabdeckung fehlt Heizkörper fehlt Heizkörperventil fehlt Rosette fehlt Subwärmehändler fehlen Thermostatkopf fehlt
<b>Sonstige</b>	Heizkörper ist zu entpacken Malerei hinter Heizkörper fehlt



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 5 Strategie und funktionale Anforderungen

Abschnitt 2.5 zeigt, dass das Design des UX mit der Festlegung der Strategie und des Umfangs des zu entwickelnden Tools beginnt. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit diesen zwei ersten Schritten des UX-Designs. Im ersten Schritt wird auf Basis der Erkenntnisse aus den Interviews eine Strategie entwickelt. Die Nutzerbedürfnisse (Probleme und mögliche Verbesserungen des Prozesses der TGA-Abnahme) werden im Abschnitt 5.1 aufgelistet und in konkrete Ziele umgesetzt, um sicherzustellen, dass das zu entwickelnde AR-Tool seinen Zweck erfüllt. Im zweiten Schritt werden diese Ziele in die funktionalen Anforderungen des AR-Tools umgesetzt. Diese Funktionalitäten, die im Abschnitt 5.2 zusammenfasst werden, müssen im AR-Tool vorhanden sein, um den Benutzerbedürfnissen zu entsprechen.

### 5.1 Strategie

Basierend auf der Analyse der Workflow-Diagramme (siehe Abschnitt 3) und der Mängellisten (siehe Abschnitt 4) ist es möglich, die Bereiche mit dem größten Verbesserungspotential bzw. Verbesserungsbedarf zu identifizieren. Diese Bereiche werden den spezifischen Bedürfnissen des Benutzers des AR-Tools zugeordnet. Die Festlegung der Strategie besteht aus drei Phasen. Zuerst wurden die einzelnen Verbesserungspotentiale identifiziert. Als nächstes wurden die Bedürfnisse und Probleme des Benutzers in jedem Bereich ermittelt. Schließlich wurden diese Bedürfnisse in konkrete Ziele umgesetzt, die das zu entwickelnde AR-Tool erfüllen muss. Die Ergebnisse dieser Phase der Zielsetzung sind in Tabelle 5 zu finden.

Tabelle 5. Entwicklung der Strategie

<b>In welchen Bereichen gibt es Verbesserungspotential bzw. -bedarf?</b>	<b>Welche Probleme der Benutzer können in diesem Bereich mithilfe des AR-Tools gelöst werden?</b>	<b>Wie können die Benutzerbedürfnisse als konkrete Ziele für das AR-Tool formuliert werden?</b>
<b>Mängelerfassung</b>	Der Prozess der laufenden Qualitätssicherung ist zeitaufwendig.	Das AR-Tool beschleunigt den Prozess der Mängelerfassung.
<b>Vielzahl von Plänen und Unterlagen</b>	Aufgrund der Menge und des Detaillierungsgrades der Unterlagen ist der Vergleich zwischen Plänen und Bestand kompliziert.	Das AR-Tool ermöglicht die visuelle Überlagerung von Plänen (Übersichtspläne und Pläne aus Einzeldisziplinen) und Bestand.
<b>Abrufen von Elementinformationen</b>	Informationen über jedes TGA-Element sind nicht immer leicht zugänglich.	Die Informationen über jedes TGA-Element sind im AR-Tool direkt zugänglich.

Tabelle 5 (Fortsetzung). Entwicklung der Strategie

<b>In welchen Bereichen gibt es Verbesserungspotential bzw. -bedarf?</b>	<b>Welche Probleme der Benutzer können in diesem Bereich mithilfe des AR-Tools gelöst werden?</b>	<b>Wie können die Benutzerbedürfnisse als konkrete Ziele für das AR-Tool formuliert werden?</b>
<b>Kollisionen mit zu installierenden Elementen</b>	Es ist nicht möglich, die Kollisionen zwischen bereits installierten und noch nicht installierten Elementen zu identifizieren (z.B. zwischen einem bestehenden Rohr und einer zu installierenden Zwischendecke).	Die Kollisionen zwischen bestehenden und zu installierenden Elementen können mit dem AR-Tool identifiziert werden.
<b>Lokalisierung der bereits festgestellten Mängel</b>	Bei den nachfolgenden Inspektionen wird keine Zeit gespart, weil frühere Mängel und Änderungen zuerst gefunden werden müssen.	Das AR-Tool gibt die Position der bereits festgestellten Mängel an.
<b>Bestimmen des Aufnahmeortes von Fotos</b>	Mit einer Kamera aufgenommene Fotos müssen manuell den Mängeln zugeordnet werden.	Jedes mit dem AR-Tool aufgenommene Foto wird automatisch einem Mangel zugeordnet.
<b>Wiederholende Mängel</b>	Auf verschiedenen Baustellen wiederholen sich immer wieder die gleichen Mängel.	Das AR-Tool verwendet eine Standardliste von Mängeln, um den Arbeitsaufwand des Benutzers zu reduzieren.
<b>Planänderungen</b>	Die Pläne (insbesondere die Montagepläne) werden oft geändert. Es ist notwendig, immer den aktuellen Stand zu haben.	Das AR-Tool garantiert den aktuellsten Stand der Pläne.
<b>Manuelle Protokollerstellung</b>	Wenn in der Firma keine spezialisierte Software verwendet wird, muss das Protokoll manuell erstellt werden (z.B. mithilfe MS Word).	Das AR-Tool automatisiert den Prozess der Protokollerstellung.

Tabelle 5 (Fortsetzung). Entwicklung der Strategie

<b>In welchen Bereichen gibt es Verbesserungspotential bzw. -bedarf?</b>	<b>Welche Probleme der Benutzer können in diesem Bereich mithilfe des AR-Tools gelöst werden?</b>	<b>Wie können die Benutzerbedürfnisse als konkrete Ziele für das AR-Tool formuliert werden?</b>
<b>Hände frei halten</b>	Die ÖBA-Mitarbeiter müssen eine Vielzahl von Equipment auf die Baustelle mitnehmen.	Ein HMD wird verwendet.

## 5.2 Funktionale Anforderungen

Im zweiten Schritt des UX-Design-Prozesses werden die Funktionalitäten des zu entwickelnden AR-Tools definiert. Die in Tabelle 5 aufgelisteten Ziele werden in Features und Funktionalitäten umgestellt und in Tabelle 6 zusammengefasst. Alle im zu entwickelnden AR-Tool verfügbaren Funktionalitäten sind im Abschnitt 7.1 beschrieben.

Tabelle 6. Ziele und Funktionalitäten des AR-Tools

<b>Ziele für das AR-Tool</b>	<b>Funktionalitäten des AR-Tools</b>
<b>Das AR-Tool beschleunigt den Prozess der Mängelerfassung.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verknüpfung mit IFC-Datei</li> <li>- Halbautomatischer Prozess der Mängelprotokollierung</li> </ul>
<b>Das AR-Tool ermöglicht die visuelle Überlagerung von Plänen (Übersichtspläne und Pläne aus Einzeldisziplinen) und Bestand.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatische Verortung</li> <li>- Verknüpfung mit IFC-Datei</li> <li>- Layering-Funktion</li> </ul>
<b>Die Informationen über jedes TGA-Element sind im AR-Tool direkt zugänglich.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verknüpfung mit IFC-Datei</li> <li>- Bauteilinformationen-Funktion</li> </ul>
<b>Die Kollisionen zwischen bestehenden und zu installierenden Elementen können mit dem AR-Tool identifiziert werden.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messfunktion</li> <li>- Unterteilung der Pläne in Layers</li> <li>- Erkennung der freizuhaltenden Bereiche</li> </ul>
<b>Das AR-Tool gibt die Position der bereits festgestellten Mängel an.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Darstellung früherer Mängel</li> <li>- Radar-Funktion (Richtungserkennung)</li> <li>- Erkennung von Änderungen</li> </ul>

Tabelle 6 (Fortsetzung). Ziele und Funktionalitäten des AR-Tools

<b>Ziele für das AR-Tool</b>	<b>Funktionalitäten des AR-Tools</b>
<b>Jedes mit dem AR-Tool aufgenommene Foto wird automatisch einem Mängel zugeordnet.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fotofunktion mit Verortung</li><li>- Scan-Funktion</li></ul>
<b>Das AR-Tool verwendet eine Standardliste von Mängeln, um den Arbeitsaufwand des Benutzers zu reduzieren.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Standardliste von Mängeln</li><li>- Hinzufügen von Zusatzinformationen zu Mängeln</li></ul>
<b>Das AR-Tool garantiert den aktuellsten Stand der Pläne.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verknüpfung mit IFC-Datei</li><li>- Bidirektionaler Datenaustausch</li></ul>
<b>Das AR-Tool automatisiert den Prozess der Protokollerstellung.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Automatische Protokollerstellung</li></ul>
<b>Das AR-Tool wird in einem Headset verwendet.</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Anwendung des DAQRI-Headsets</li></ul>

## 6 Navigationsschema

Der nächste Schritt im Prozess des UX-Designs laut Garret<sup>70</sup> (siehe Abschnitt 2.5) ist die Entwicklung einer Struktur, d.h. eines Navigationsschemas. Das Navigationsschema kann als Klickpfad verstanden werden: es ist der Weg, den der Benutzer zurücklegt, um die gewünschte Option oder Funktionalität zu finden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist es wichtig, die Reihenfolge der vom Benutzer durchgeführten Aktionen als Klickpfad darzustellen. Die Abbildung 13 ist eine grafische Darstellung dieses Klickpfades. Jedes Kästchen in der oberen Reihe stellt ein eigenes Menü dar, während die kleineren Kästchen alle Optionen enthalten, die dem Benutzer auf dieser Ebene zur Verfügung stehen. Die dargestellten Kästchen (Optionen) werden im Abschnitt 7.1 genauer beschrieben.

Das Hauptziel der in der Abbildung 13 dargestellten Struktur ist es, eine möglichst geringe Anzahl von Menüs zu gewährleisten. Dadurch wird die Anzahl der erforderlichen Interaktionen für den Zugriff auf eine bestimmte Funktion minimiert.

Beispielweise muss für die Eingabe von Mängel zuerst im Startmenü das Projekt ausgewählt werden und eine Verbindung zwischen der realen Konstruktion und dem BIM-Modell hergestellt werden. Danach wird ein Bauteil mit der „gaze-and-dwell“-Methode ausgewählt. Wenn ein Bauteil-Kontextmenü erscheint, wird die „neuer Mangel“-Option ausgewählt. Anschließend wird die Hauptmangelkategorie bzw. der Mangel aus bauteilspezifischen Listen ausgewählt. Es ist auch möglich, zusätzliche Markierungen oder Notizen hinzuzufügen. Schließlich wird die Option „beenden und speichern“ ausgewählt.

---

<sup>70</sup> vgl. Garret, J.: *The Elements of User Experience*.

# Navigationsschema

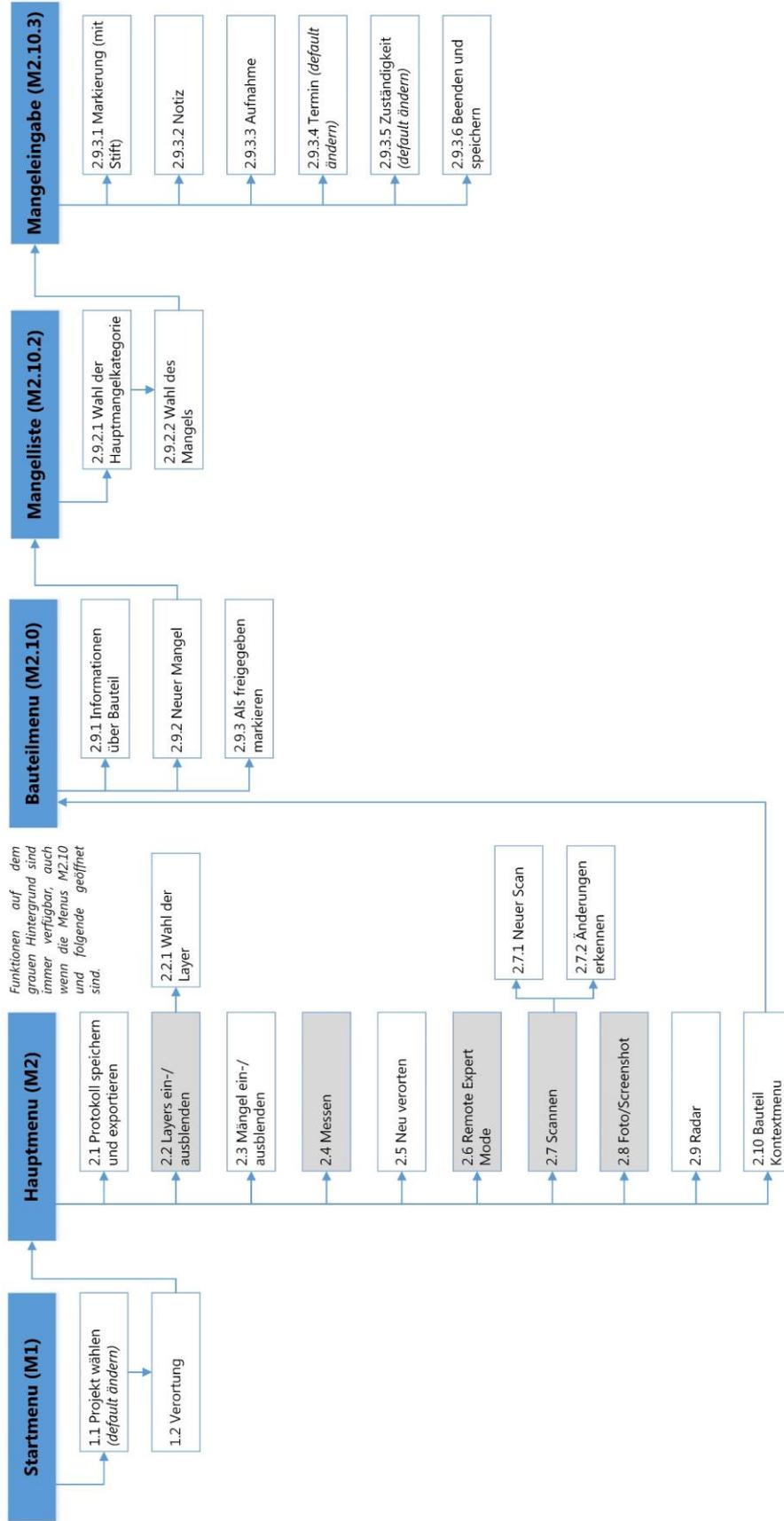


Abbildung 13. Navigationsschema

## 7 Interface-Mockups

In diesem Kapitel werden die Funktionalitäten und das Navigationsschema in grafischer Form von Mockups des AR-Tools zusammengefasst. Jedes Menü wird zur besseren Übersichtlichkeit auf einem separaten Mockup präsentiert. Außerdem werden die Prinzipien der Layering-Funktion des AR-Tools beschrieben.

### 7.1 Grafische Mockups

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Mockups zeigen alle Menüs des zu entwickelnden AR-Tools. Die Mockups wurden mehrfach mit den Interviewpartnern überprüft und iterativ verbessert. Die in jeder Phase des Entwurfsprozesses eingeführten Änderungen sind in den Besprechungsprotokollen aufgelistet. Um eine bessere Verständlichkeit zu gewährleisten, werden die Positionierung von Schaltflächen, Fotos und Textblöcken sowie der visuelle Aspekt in einem begrenzten Umfang in diesem Kapitel berücksichtigt. Die vierte und fünfte Schicht des UX-Designs nach Garrett<sup>71</sup> werden in dieser Arbeit daher zwar behandelt, aber sind nicht der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit.

#### 7.1.1 Startmenü (M1)

Dieses Menü (siehe Abbildung 14) ist nur sichtbar, wenn das AR-Tool ganz am Anfang der örtlichen Begehung geöffnet wird. Wenn ein Projekt bereits geöffnet und nicht beendet wurde, erscheint das Menü nicht.

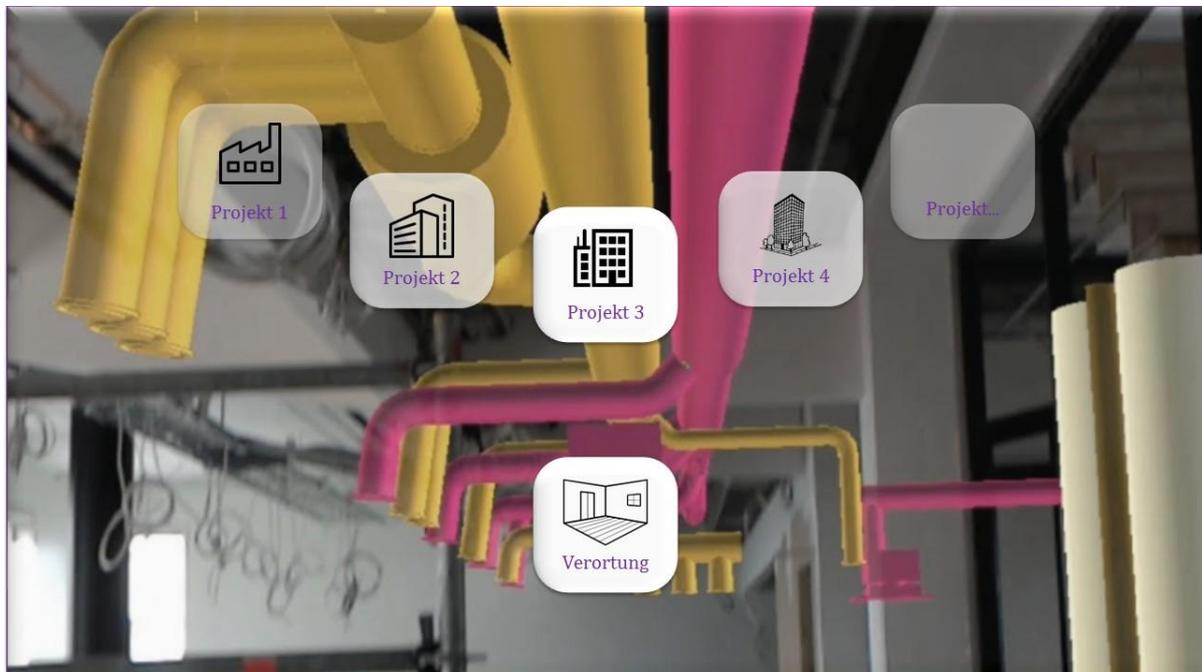


Abbildung 14. Startmenü (M1)

<sup>71</sup> vgl. Garret, J.: *The Elements of User Experience*.

### Projekt wählen

Auf dieser Ebene ist es das Ziel des Benutzers, das zu öffnende Projekt aus einer Liste aller bereits geladenen Projekte auszuwählen. Die Standardoption ist das zuletzt gewählte Projekt; der Benutzer kann jedoch jedes der verfügbaren Projekte auswählen.

### Verortung

Es ist eine Methode der Positionierung des BIM-Modells in der realen Umgebung (Herstellen einer Verbindung zwischen der realen Konstruktion und dem BIM-Modell). Für die Positionierung existieren verschiedene Methoden. Eine Methode besteht darin, drei Flächen im BIM-Modell auszuwählen und die entsprechenden realen Positionen zu definieren. Dazu wird dem Benutzer das gesamte Modell angezeigt, in dem er die Elemente auswählt, die für Verortung verwendet werden sollen. Das Modell wird automatisch skaliert, da die Hardware reale Abmessungen erkennt.

### 7.1.2 Hauptmenü (M2)

Dieses Menü (siehe Abbildung 15) ist sichtbar, sobald ein Projekt ausgewählt und positioniert wurde. Es enthält alle Grundfunktionen der Software. Einige Optionen sind immer verfügbar, diese sind in der Abbildung 13 grau markiert, während andere nur verfügbar sind, wenn sich der Benutzer nicht im Bauteilmenü (M2.9) befindet.

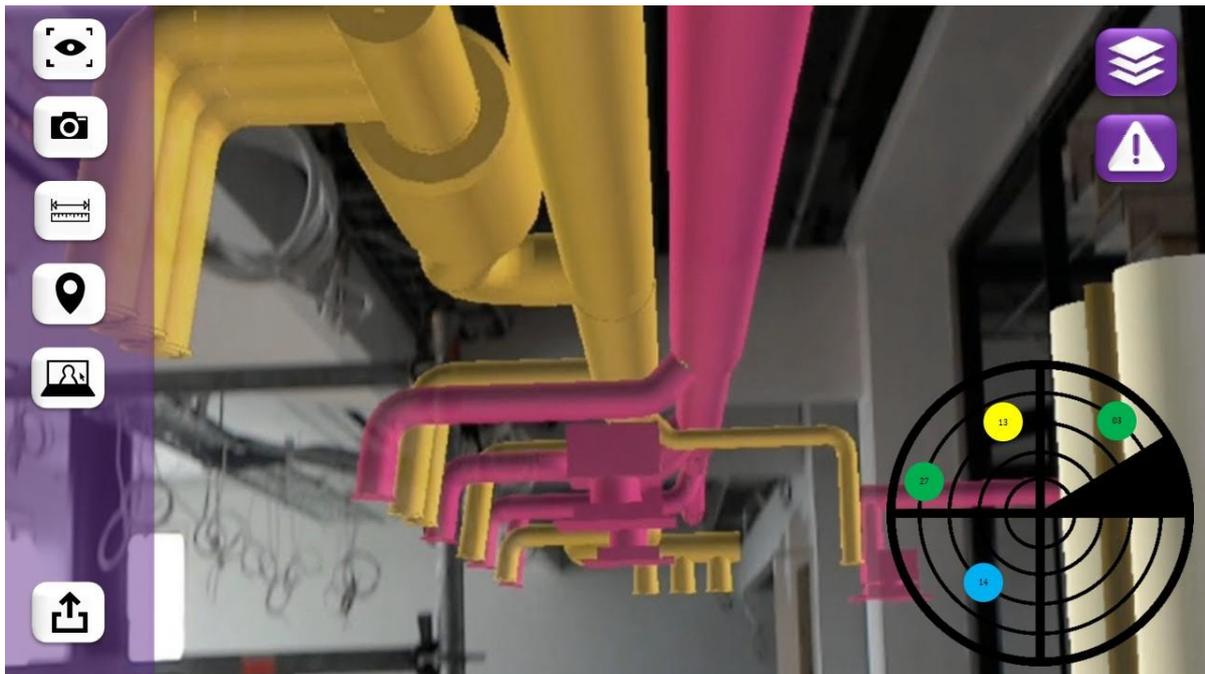


Abbildung 15. Hauptmenü (M2)

### Protokoll speichern und exportieren



Diese Option erlaubt, alle während des Prozesses eingegebenen Informationen in der IFC-Datei zu speichern. Die Optik der Schaltfläche variiert, je nachdem, ob eine WLAN-Verbindung vorhanden ist (dann werden die generierten BCF-Tickets in der Cloud synchronisiert) oder wenn diese nicht besteht (dann werden die Informationen lokal gespeichert).

**Layers ein-/ausblenden**

Alle in der IFC-Datei definierten Layer können zur besseren Übersichtlichkeit eingeschaltet werden (siehe Abbildung 16). Bei Auswahl dieser Option wird dem Benutzer sofort eine Liste der Layer angezeigt. Verschiedene IFC-Klassen von Elementen sind verschiedenen Ebenen zugeordnet, entsprechend der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Aufteilung. Diese Aktion ist immer verfügbar.

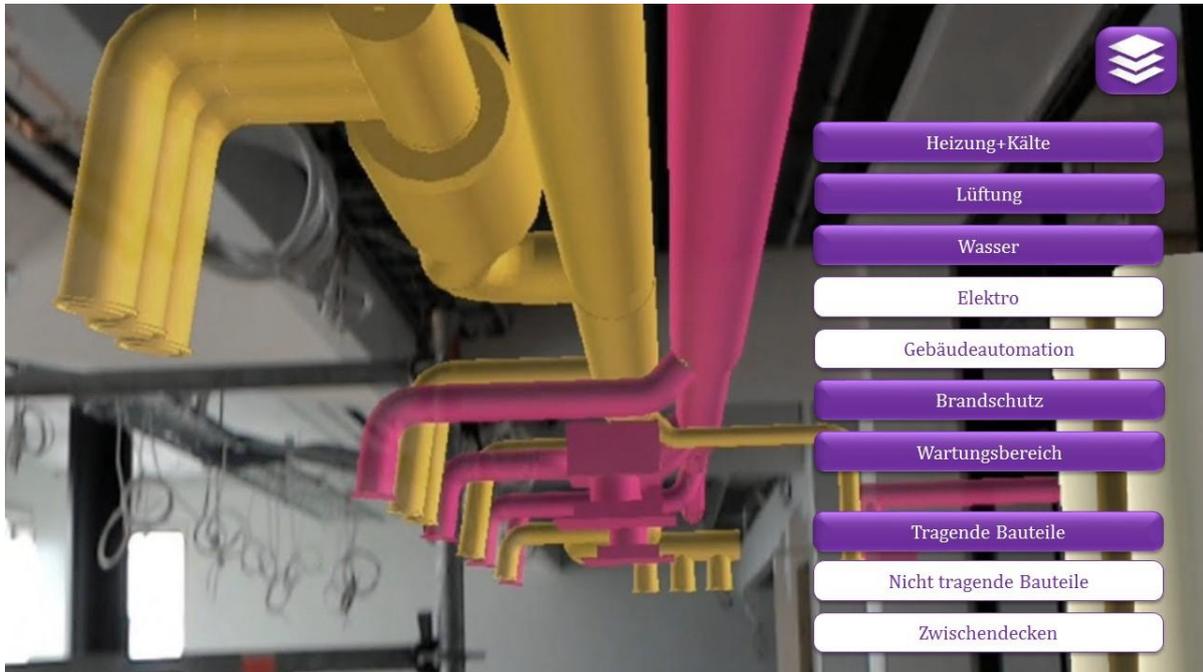


Abbildung 16. Layers ein-/ ausblenden

**Mängel ein-/ausblenden**

Es ist auch möglich, die Sichtbarkeit aller Mängel ein- oder auszuschalten (siehe Abbildung 17). Diese Option ist separat erhältlich, um einen schnellen Zugriff zu gewährleisten. Beim Einblenden von Mängeln sieht der Benutzer sofort alle als mangelhaft gekennzeichneten Bauteile mit einer roten Markierung. Jeder Mangel ist mit einer eindeutigen Mängelnummer, dem Zeitpunkt der Erkennung und der Behebungsfrist gekennzeichnet.

**Messen**

Bei der Auswahl dieser Aktion kann der Benutzer den Abstand zwischen zwei Punkten in der realen Konstruktion messen. Mit dieser Option kann z.B. der Abstand zwischen zwei Bauteilen, die Lichthöhe oder die Abmessungen eines bestimmten Elements überprüft werden. Diese Aktion ist immer verfügbar.

**Neu verorten**

Die Software verliert an Genauigkeit, wenn sich der Benutzer vom Ausgangspunkt entfernt. Deswegen wird empfohlen, diese Option von Zeit zu Zeit zu nutzen – insbesondere wenn von einem Stockwerk zum anderen gewechselt wird oder wenn die Gesamtfläche der Konstruktion sehr groß ist.

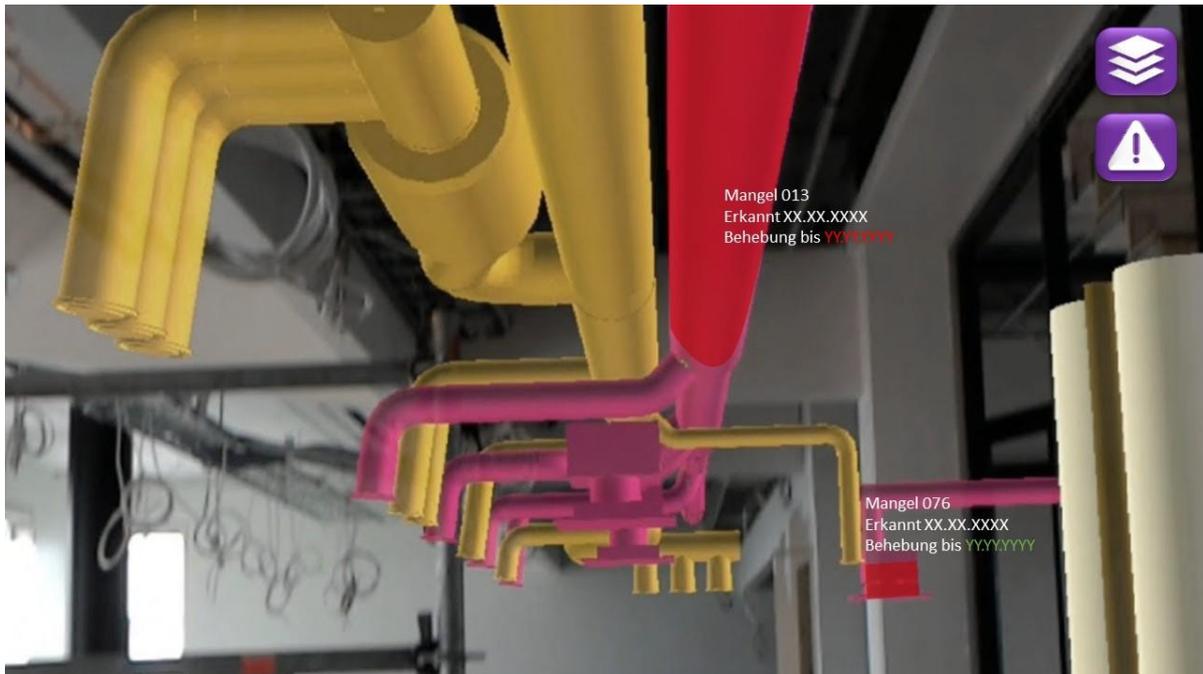


Abbildung 17. Eingblendene Mängel

### Remote Expert Mode



Wenn der Benutzer diesen Modus einschaltet, kann er einen Experten kontaktieren, der sich derzeit nicht vor Ort befindet. Der Experte erhält genau die gleiche Ansicht wie der Softwarebenutzer und kann frei kommunizieren, um dem Benutzer bei der Lösung der aufgetretenen Probleme zu helfen. Diese Aktion ist immer verfügbar.

### Scannen



Das Scannen ermöglicht die Aufnahme eines bestimmten Bereiches – z.B. eines Raumes. Der Scan wird gespeichert und kann später zur näheren Betrachtung abgerufen werden. Diese Aktion ist immer verfügbar. Es gibt zwei Möglichkeiten, einen Scan durchzuführen:

- **Neuer Scan:** Diese Aktion erzeugt einen neuen Scan des Bereiches.
- **Änderungen erkennen:** Wenn es einen vorherigen Scan des gleichen Bereichs gibt, es ist möglich zu überprüfen, welche Änderungen in der Zwischenzeit vorgenommen wurden. Diese Option ist hilfreich, weil sie den Zeit- und Arbeitsaufwand reduziert, um Änderungen auf der Baustelle manuell zu finden.

### Foto/ Screenshot



Diese Option ermöglicht es, einen Screenshot der aktuellen Ansicht zu erstellen, der dann automatisch gespeichert und in das endgültige Protokoll aufgenommen wird. Wenn ein Bauteil ausgewählt ist, wird das Bild zu den mit diesem Element verbundenen Informationen hinzugefügt. Andernfalls wird das Foto als Pin (wo der Benutzer während der Aufnahme stand) mit einer fächerartigen Färbung lokalisiert, die die Richtung anzeigt, in die er schaute. Diese Aktion ist immer verfügbar.

## Radar

Am unteren Rand des Bildschirms wird ein Radar angezeigt. Das Radar zeigt die bereits identifizierten Mängel in der unmittelbaren Umgebung an. Jeder Mangel wird mit einer Farbe entsprechend dem Layer und mit einer eindeutigen Mängelnummer gekennzeichnet.

### Bauteil-Kontextmenü

Wenn der Benutzer ein Element über einen längeren Zeitraum in Sicht nimmt, wird ein Kontextmenü dieses Elements geöffnet, in dem der Benutzer Informationen direkt aus der IFC-Datei abrufen oder neue Mängel markieren kann.

#### 7.1.3 Bauteilmenü (M2.9)

Dieses Menü (siehe Abbildung 18) erscheint, wenn ein Bauteil (IFC-Element) ausgewählt wurde. Es befindet sich immer direkt am geprüften Element und verschwindet erst, wenn der Benutzer es entweder ganz schließt oder so wegschaut, dass das geprüfte Element aus seiner Sicht verschwindet.

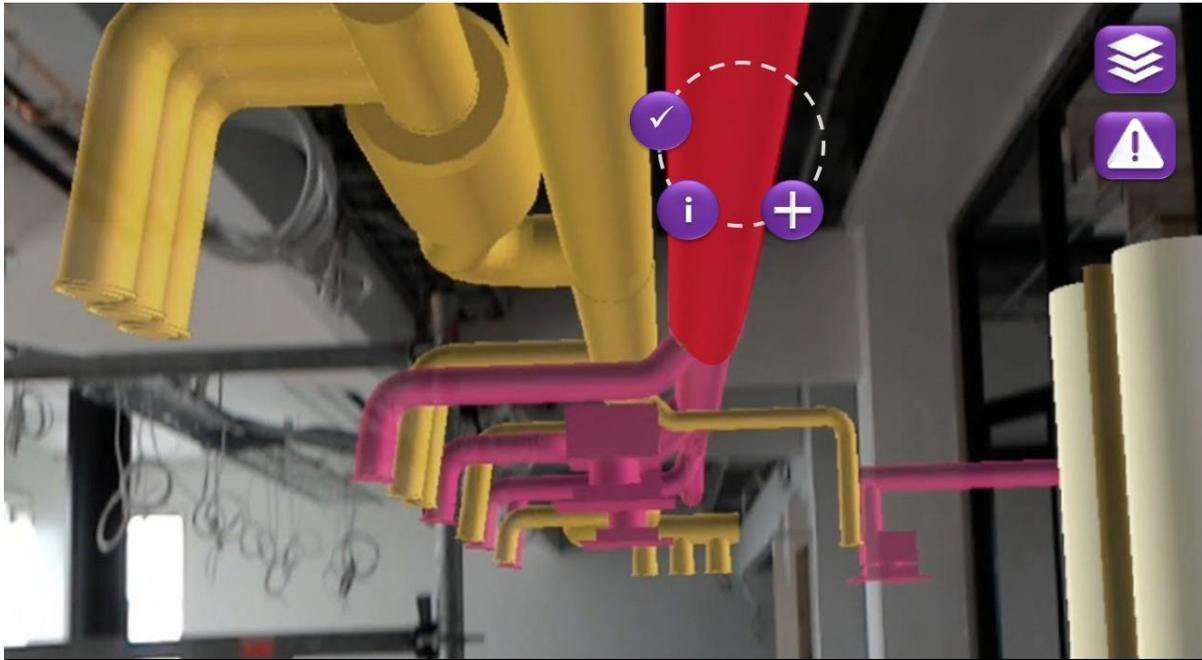


Abbildung 18. Bauteilmenü (M2.9)

#### Informationen über Bauteil

Wenn der Benutzer diese Aktion auswählt, wird ein Fenster mit allen Informationen über dieses Element angezeigt, die aus der IFC-Datei wiederhergestellt werden. Dazu gehören Informationen wie die Klasse des Elements bzw. alle Parameter und Merkmale, die im ursprünglichen BIM-Modell enthalten sind. Der Benutzer erhält auch alle Informationen über Mängel, die bisher identifiziert und gespeichert wurden (welches Problem, wann erkannt, wann behoben usw.)

### Neuer Mangel



Stellt der Benutzer einen Mangel im Bauteil fest, wird automatisch ein Screenshot generiert. Wenn diese Option gewählt wird, öffnet sich das Menü M2.9.2.

### Als freigegeben markieren



Die letzte Option ermöglicht es dem Benutzer, das Element als freigegeben zu markieren: in diesem Fall bedeutet dies, dass das Element korrekt eingebaut wurde und nicht mehr überprüft werden muss. Diese Option ist nur verfügbar, wenn ein Mangel früher erkannt wurde oder wenn das Element von besonderer Bedeutung ist (z.B. Brandschutzklappe). Diese Information wird nicht im BCF-Ticket, sondern in einer separaten XML-Datei gespeichert.

### 7.1.4 Mängelliste (M 2.9.2)

Der Benutzer kann einen Mangel aus der Liste der häufigsten Mängel auswählen (siehe Abbildung 19). Die Software stellt eine Liste mit den häufigsten Mängeln zur Verfügung, sie kann aber auch frei editiert werden. Jeder Nutzer kann seine Positionen einfügen. Die Liste ist bei der Wahl vorgefiltert – d.h. nur die Mängel, die für diesen Typ des Elements auftreten können, sind hier inkludiert (wie im Anhang D dargestellt). Jede Kategorie beinhaltet eine Reihe von verschiedenen Mängeln, die bei diesem spezifischen Element auftreten können.

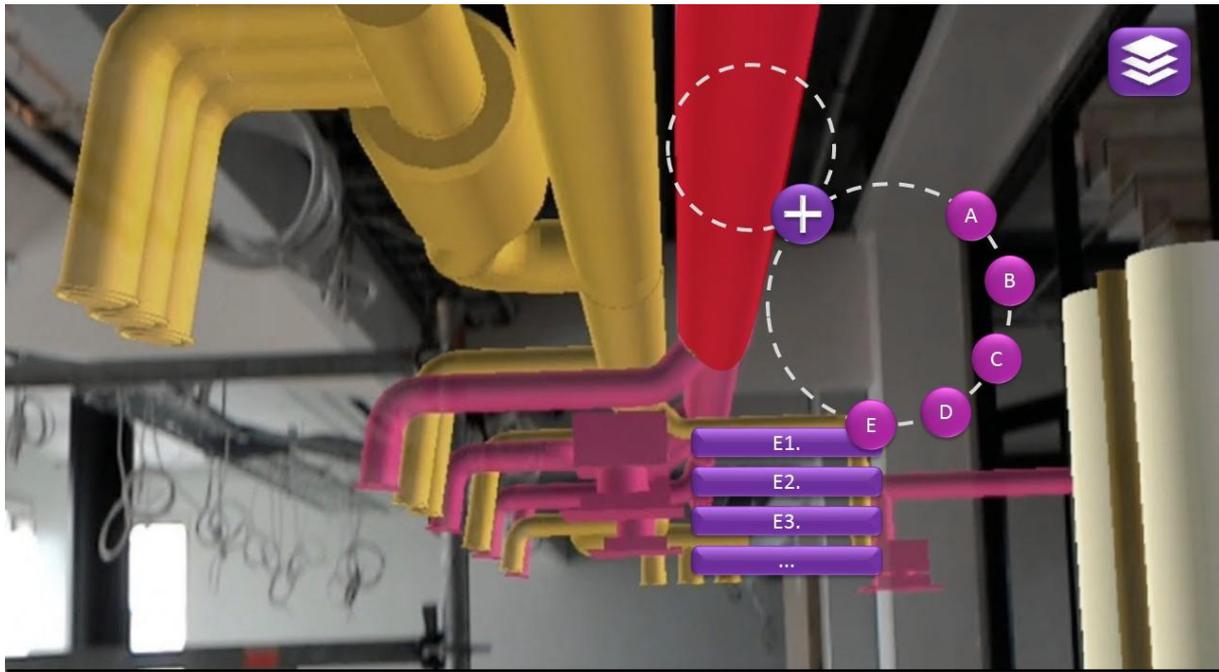


Abbildung 19. Mängelliste (M2.9.2)

#### Wahl der Hauptmangelkategorie

Zuerst muss der Benutzer die Kategorie auswählen. Alle verfügbaren Kategorien sind im Abschnitt 4.3 aufgelistet.

#### Wahl des Mangels

Im nächsten Schritt kann eine genauere Beschreibung des Problems gewählt werden. Ein Auswahl von möglichen Mängeln wird im Abschnitt 4.4 stichprobenartig aufgelistet. Von hier aus hat der

Benutzer weiterhin die Möglichkeit, den Mangel mit Hilfe der im Menü M2.9.3 verfügbaren Aktionen näher zu beschreiben.

### 7.1.5 Mangleingabe (M2.9.3)

In diesem Menü (siehe Abbildung 20) kann der Benutzer mit fünf verschiedenen Aktionen den gefundenen Mangel so genau wie möglich beschreiben. Alle diese Informationen werden direkt im BCF-Ticket gespeichert und mit diesem Bauteil verknüpft, sodass der Mangel nicht mehr verortet werden muss.

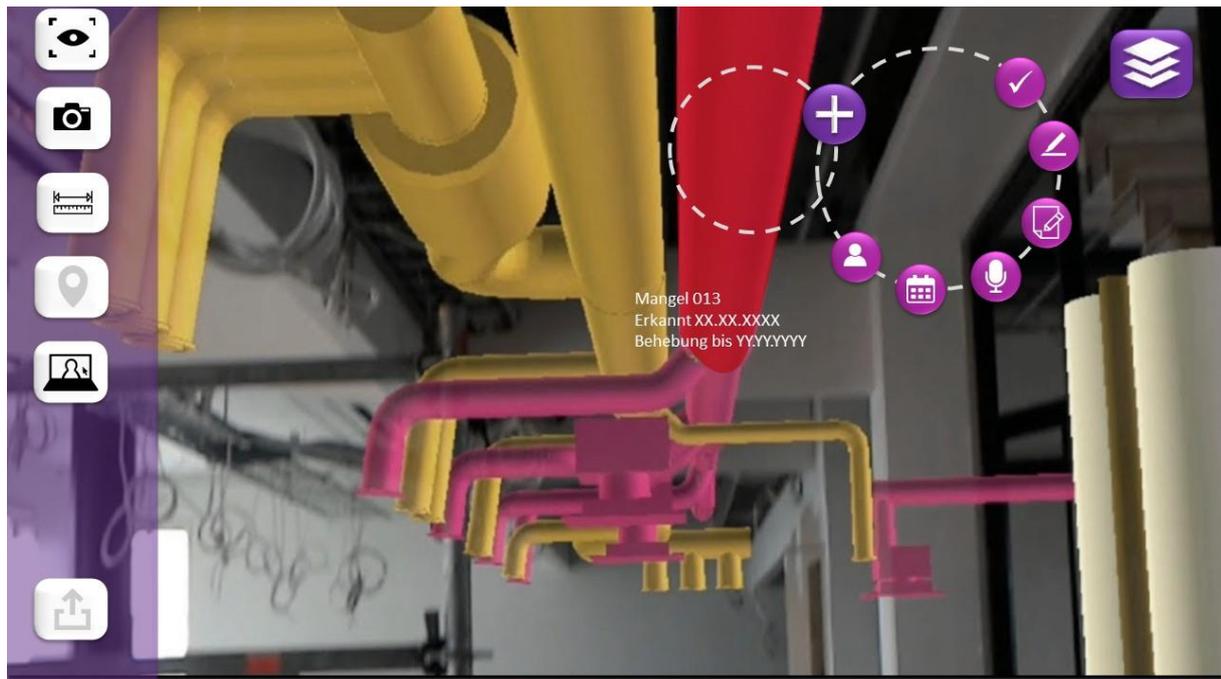


Abbildung 20. Mangleingabe (M2.9.3)

#### Markierung

Es ist möglich, bestimmte Aspekte der Elemente mit einem „Stift“ zu markieren. Diese Markierung kann dann in einem Screenshot gespeichert werden.

#### Notiz

Bei Bedarf kann der Benutzer eine virtuelle Tastatur öffnen, um eine kurze Notiz über den Mangel zu verfassen.

#### Aufnahme

Anstatt eine Notiz zu erstellen (was bei AR-Software sehr schwierig ist), kann der Benutzer auch eine Aufzeichnung vorbereiten. Die Aufnahme wird dann mit Hilfe der automatischen Spracherkennung automatisch transkribiert und kann im Endprotokoll weiterverarbeitet werden (sowohl als Sprachaufzeichnung als auch als Textdatei).

### Termin



Die Frist für die Mängelbeseitigung wird immer automatisch gewählt, basierend auf den durchschnittlichen Zeiten der Mängelbehebung aus dieser Kategorie. Eine Erweiterung dieser Funktion könnte in Zukunft den Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) beinhalten. Diese KI würde auf der Basis von früheren Projekten lernen, automatisch immer realistischere Fristen zu wählen.

### Zuständigkeit



Die letzte Möglichkeit für den Benutzer ist die Wahl der Beteiligten, die für die Beseitigung des Mangels verantwortlich sind. Die für die jeweiligen Gewerke zuständigen Firmen können beim Hochladen der IFC-Datei in das AR-Tool zugeordnet werden (siehe auch Abschnitt 7.2).

### Beenden und speichern



Bei Auswahl dieser Option wird der Mangel geschlossen und ein BCF-Ticket generiert.

## 7.2 Layering

Die gleichzeitige Visualisierung aller Elemente des BIM-Modells führt zu einer unlesbaren Darstellung. Deshalb ist es sinnvoll, den TGA-Elementen bestimmten Layer zuzuordnen. Layering erfolgt in dieser Diplomarbeit anhand der Funktionalität und die Zuordnung zu den Gewerken: Heizung+Kälte, Lüftung, Wasser, Elektro, Gebäudeautomation und Brandschutz. Jeder Layer kann ein- und ausgeblendet werden, wodurch die Übersichtlichkeit für den Nutzer erhöht wird.

Die Aufteilung der Elemente in Layer erfolgt nach der IFC-Klassifizierung. Jeder IFC-Klasse wird ein Layer zugeordnet. Die Zuordnung ist in Tabelle 7 dargestellt. Einige Klassen können mehreren Layern zugeordnet werden. Es wird empfohlen, für jedes Element, das sich in der Kategorie Heizung+Kälte befindet, einen zusätzlichen Parameter im BIM-Modell hinzuzufügen. Dieser Parameter charakterisiert jedes Element als entweder Heiz- oder Kühlelement. Es ist unmöglich, zwischen diesen Elementen in der IFC-Ebene zu unterscheiden, aber eine konsequente Verwendung eines zusätzlichen Parameters wird dies ermöglichen.<sup>72</sup>

Neben den Schichten, die TGA-Elemente enthalten, soll das AR-Tool auch alle anderen im IFC-Modell vorhandenen Bauelemente darstellen können. Diese Option stellt sicher, dass es möglich ist, Kollisionen mit anderen Elementen zu überprüfen. Diese anderen Bauelemente werden automatisch einem von drei Layern zugeordnet: tragende Bauteile, nicht tragende Bauteile und Zwischendecken. Die letzte Kategorie wurde nach einem der Interviews herausgegriffen, in dem der Interviewpartner erklärte, dass eine große Gruppe von Mängeln durch eine Kollision mit der Zwischendecke entsteht.

---

<sup>72</sup> Es kann auch empfohlen werden, die zusätzlichen Parameter zu verwenden, um die Kategorien zur besseren Übersichtlichkeit weiter in verschiedene Arten von Leitungen zu unterteilen (z.B. Vorlauf und Rücklauf). Die Layers lassen sich dann mit Farben gemäß ÖNORM Z 1001:2001 12 01 „Kennzeichnung von Rohrleitungen nach deren Inhalt“ kennzeichnen. Diese weitere Unterteilung ist nicht Teil des Umfangs dieser Diplomarbeit gewesen.

Beim erstmaligen Import des IFC-Modells in das AR-Tool kann jedem Layer ein Zuständiger zugeordnet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass jedem bei der Abnahme gefundenen Mangel ein Zuständiger automatisch zugeordnet wird. Dennoch kann der Zuständige bei Bedarf jederzeit geändert werden.

Tabelle 7. Layers des AR-Tools

Elementenklassifizierung (nach IFC-4 Add2 Dokumentation)		Layer
IFC Class (level 3)	Natural language name	
IfcActuator	Aktor	Gebäudeautomation
IfcAlarm	Alarm/ Gefahrenmelder	Gebäudeautomation
IfcController	Regler	Gebäudeautomation
IfcFlowInstrument	Messinstrument (allgemein)	Gebäudeautomation
IfcProtectiveDeviceTrippingUnit	Sicherungsschalter	Gebäudeautomation
IfcSensor	Sensor	Gebäudeautomation
IfcUnitaryControlElement	Einheitsregler	Gebäudeautomation
<b>IfcEnergyConversionDevice</b>	<b>Energiewandler</b>	
IfcAirToAirHeatRecovery	Wärmerückgewinner	Heizung+Kälte
IfcBoiler	Heizkessel	Heizung+Kälte
IfcBurner	Brenner	Heizung+Kälte
IfcChiller	Kältemaschine	Heizung+Kälte
IfcCoil	Heiz-, Kühlelemente	Heizung+Kälte
IfcCondenser	Kondensator	Heizung+Kälte
IfcCooledBeam	Kühlbalken	Heizung+Kälte
IfcCoolingTower	Kühlturm	Heizung+Kälte
IfcElectricGenerator	Elektrogenerator	Elektro
IfcElectricMotor	Elektromotor	Elektro
IfcEngine	Motor	Heizung+Kälte
IfcEvaporativeCooler	Verdunstungskühler	Heizung+Kälte
IfcEvaporator	Verdampfer	Heizung+Kälte
IfcHeatExchanger	Wärmetauscher	Heizung+Kälte
IfcHumidifier	Befeuchter	Lüftung
IfcMotorConnection	Motoranschluss	Elektro
IfcSolarDevice	Solargerät	Heizung+Kälte / Elektro
IfcTransformer	Transformator	Elektro
IfcTubeBundle	Rohrbündel	Heizung+Kälte
IfcUnitaryEquipment	Einbaufertige Anlage	Heizung+Kälte / Lüftung
<b>IfcFlowController</b>	<b>Regler (allgemein)</b>	
IfcAirTerminalBox	Volumenstromregler	Lüftung
IfcDamper	Regelklappe	Lüftung
IfcElectricDistributionBoard	Elektrischer Verteilungsregler	Elektro
IfcElectricTimeControl	Elektrische Zeitsteuerung	Elektro

Tabelle 7 (Fortsetzung). Layers des AR-Tools

Elementenklassifizierung (nach IFC-4 Add2 Dokumentation)		Layer
IFC Class (level 3)	Natural language name	
IfcFlowMeter	Zähler (allgemein)	Heizung+Kälte / Wasser
IfcProtectiveDevice	Sicherung	Elektro
IfcSwitchingDevice	Schalter	Elektro
IfcValve	Ventil	Heizung+Kälte / Wasser
<b>IfcFlowFitting</b>	<b>Verbinder/ Formstück (allgemein)</b>	
IfcCableCarrierFitting	Kabelträger Passstück	Elektro
IfcCableFitting	Kabelverbinder	Elektro
IfcDuctFitting	Kanalverbinder	Lüftung
IfcJunctionBox	Verbindungsdose	Elektro
IfcPipeFitting	Rohrverbinder	Heizung+Kälte / Wasser
<b>IfcFlowMovingDevice</b>	<b>Strömungsmaschine (allgemein)</b>	
IfcCompressor	Kompressor	Heizung+Kälte
IfcFan	Ventilator	Lüftung
fcPump	Pumpe	Heizung+Kälte / Wasser
<b>IfcFlowSegment</b>	<b>Verteiler (allgemein)</b>	
IfcCableCarrierSegment	Kabelträgersegment	Elektro
IfcCableSegment	Elektroleitungen	Elektro
IfcDuctSegment	Kanal	Lüftung
IfcPipeSegment	Rohr	Heizung+Kälte / Wasser
<b>IfcFlowStorageDevice</b>	<b>Speicher (allgemein)</b>	
IfcElectricFlowStorageDevice	Elektrisches Speichergerät	Elektro
IfcTank	Tank	Heizung+Kälte / Wasser
<b>IfcFlowTerminal</b>	<b>Endgerät (allgemein)</b>	
IfcAirTerminal	Luftauslass	Lüftung
IfcElectricAppliance	Elektrisches Gerät	Elektro
IfcFireSuppressionTerminal	Feuerlöscheinrichtung	Brandschutz
IfcLamp	Lampe/ Leuchtmittel	Elektro
IfcLightFixture	Leuchte	Elektro
IfcOutlet	Dose/ Steckdose	Elektro
IfcSanitaryTerminal	Sanitäreinrichtung	Wasser
IfcSpaceHeater	Heizkörper	Heizung+Kälte
IfcStackTerminal	Rohrabdeckung	Lüftung / Wasser
IfcWasteTerminal	Ablauf/ Abscheider	Wasser
<b>IfcFlowTreatmentDevice</b>	<b>Filter</b>	
IfcDuctSilencer	Kanalschalldämpfer	Lüftung
IfcFilter	Filter	Wasser
IfcInterceptor	Abscheider	Wasser
IfcBuildingElementProxy	Bauteil / Bauelement – beliebig	–
andere	andere	–

Zur besseren Übersichtlichkeit wird jede Ebene mit einer Farbe markiert, die dem Gewerk entspricht. Ein Vorschlag der Farbzuordnung, die in der Praxis üblich verwendet wird, ist in der Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8. Layering Farbzuordnung

<b>Layer</b>	<b>Farbe</b>
Heizung+Kälte	rot
Lüftung	blau
Wasser	grün
Brandschutz	orange
Elektro	gelb
Gebäudeautomation	gelb
Wartungsbereich	Farbe nach UX Anforderungen
Tragende Bauteile	Farbe nach UX Anforderungen
Nicht tragende Bauteile	Farbe nach UX Anforderungen
Zwischendecken	Farbe nach UX Anforderungen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 8 Forschungsergebnisse

Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse der Diplomarbeit zusammen und beantwortet die am Anfang gestellten Forschungsfragen. Darüber hinaus werden weitere mit diesem Thema verbundene Forschungsschwerpunkte identifiziert und vorgeschlagen. In Rahmen dieser Diplomarbeit wurde der TGA-Abnahme-Prozess der ÖBA-Abteilung von zwei Firmen analysiert. Basierend auf leitfadengesteuerten Interviews mit den ÖBA-Gruppenleitern wurde der Abnahme- und Dokumentationsprozess untersucht und mit Hilfe der BPMN modelliert. Im nächsten Schritt wurde auf die am häufigsten auftretenden Mängel bei der Ausführung der TGA eingegangen. Basierend auf den von den Interviewpartnern zur Verfügung gestellten Unterlagen wurde ein dreistufiges Klassifizierungssystem für die Mängel vorgeschlagen, welches die IFC-Klasse der Elemente und die Art der Mängel berücksichtigt. Auf der Grundlage der leitfadengesteuerten Interviews wurde eine Strategie für ein AR-Tool entwickelt, welches die ÖBA im TGA-Abnahme-Prozess unterstützen kann. Nach den Prinzipien des User Centered Designs wurde die Strategie in die erforderlichen Funktionalitäten und Features weiterentwickelt. Diese wurden dann in einem Navigationsschema zusammengefasst. Das Interface des zu entwickelnden AR-Tools ist eine Verknüpfung aller Ergebnisse dieser Diplomarbeit. Die Lösung ist so konzipiert, dass sie sich reibungslos in die bestehenden TGA-Abnahme-Prozesse integriert und diese damit zeiteffizienter macht. Die Mängellisten können in das AR-Tool importiert werden, um automatische Listen mit Mängelvorschlägen für jedes Element anzubieten. Die erforderlichen Funktionalitäten werden in einem Interface nach den Prinzipien der UX zusammengestellt.

### 8.1 Beantwortung der Forschungsfragen

#### **Forschungsfrage 1: Wie schaut der derzeitige Workflow bei der Kontrolle und Abnahme von TGA-Leistungen auf der Baustelle aus?**

Für die Beantwortung dieser Frage wurden leitfadengesteuerte Interviews mit Experten aus der Praxis durchgeführt. Auf der Grundlage dieser Besprechungen wurden die für das Unternehmen FCP und für das Unternehmen Vasko+Partner charakteristischen Prozesse analysiert und mit der BPMN-Notation in Abbildung 21 (Variante 1) und in Abbildung 22 (Variante 2) dargestellt. Der universelle Prozess der förmlichen Abnahme wurde ebenfalls mit der BPMN-Notation in Abbildung 23 dargestellt.

Der Prozess der Kontrolle und Abnahme von TGA-Leistungen wird im Abschnitt 3.2 erläutert. Die in dieser Diplomarbeit vorgestellten Workflow-Diagramme sind eine direkte Darstellung der in den Partnerunternehmen eingesetzten Prozesse. Dennoch wurden sie so universell wie möglich dargestellt, um einen allgemeinen Workflow im Rahmen des Abnahmeprozesses nachzubilden. Der größte Unterschied, der sich aus dem Einsatz einer spezialisierten Software im Rahmen der TGA-Abnahme ergibt, wird durch die Erstellung separater Workflows für Fälle mit Software (Planungsbüro FCP) und ohne Software (Planungsbüro Vasko+Partner) berücksichtigt. Es ist zu beachten, dass sich der Workflow je nach den Besonderheiten des jeweiligen Unternehmens leicht unterscheiden kann.

Die Schlussfolgerung ist, dass die Qualitätskontrolle ein laufender Prozess ist, der die gesamte Ausführungsphase begleitet. Die regelmäßigen Kontrollen vor Ort sind der wichtigste Teil der Abnahme. Bei diesen Kontrollen müssen die ÖBA-Mitarbeiter eine große Anzahl von Plänen und Unterlagen bereithalten, die auf dem neuesten Stand gehalten werden müssen. Die Anzahl der Unterlagen und die Anforderung an ihre Aktualität sind die zwei wichtigsten Aspekte, die den Prozess der TGA-Abnahme zeit- und arbeitsaufwendig machen.

### **Forschungsfrage 2: Was sind die häufigsten Mängel bei der TGA-Abnahme und wie können diese klassifiziert werden?**

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden exemplarische Mängellisten aus realen Projekten analysiert. Auf der Grundlage dieser Listen und der leitfadengesteuerten Interviews wird ein Klassifizierungssystem vorgeschlagen. Das Klassifizierungssystem ist dreistufig, wie in Abbildung 12 konzeptionell dargestellt. Im ersten Schritt wurden alle TGA-Elemente nach dem IFC-Standard in Elementklassen gegliedert. Der zweite Schritt ist die grobe Unterteilung aller möglichen Mängel in dreizehn Kategorien. Diese Kategorien sind für alle IFC-Klassen anwendbar, jedoch können Mängel, die zu gewissen Kategorien gehören, bei Elementen bestimmter IFC-Klassen nicht auftreten. Die genaue Zuordnung der Kategorien zu den IFC-Klassen ist in der Anhang D dargestellt. Der dritte und letzte Schritt ist die Erstellung einer Liste möglicher Mängel für jede gegebene Kombination von IFC-Klasse und Mängelkategorie. Eine Stichprobe von zehn solcher Mängellisten ist im Abschnitt 4.4 und im Anhang E dargestellt.

### **Forschungsfrage 3: Welche Funktionalitäten sind bezüglich Effizienz und Effektivität des Abnahme-Prozesses in dem AR-Tool gefordert?**

Nach den Prinzipien des UX-Design nach Garrett<sup>73</sup> ist der erste Schritt bei der Entwicklung eines neuen Produkts die Analyse der Strategie und des Umfangs. Die Bedürfnisse des Benutzers müssen untersucht bzw. in Funktionalitäten und Features des zu entwickelnden Tools umgesetzt werden. Ausgehend davon werden auf der Grundlage der Interviews die wichtigsten Probleme und Bedürfnisse der Benutzer zusammengefasst und in Tabelle 5 aufgelistet. Alle Benutzerbedürfnisse werden in entsprechende Ziele für das AR-Tool umgesetzt. Dann werden jedem dieser Ziele Funktionalitäten zugeordnet, die in das zu entwickelnde AR-Tool integriert werden sollen. Diese Zuordnung wird in Tabelle 6 dargestellt.

### **Forschungsfrage 4: Wie können diese Funktionalitäten in einem User Interface am effektivsten zusammengestellt werden?**

Die Antwort auf diese Forschungsfrage entspricht dem dritten und vierten Schritt von UX-Design nach Garrett<sup>73</sup>: der Struktur und dem Skelett. Die Struktur des Tools ist eine Beschreibung eines Navigationsschemas – wie der Benutzer innerhalb des Tools von einer Option zur anderen wechselt. Dieses Schema wird in Abbildung 13 dargestellt. Das Skelett ist eine Beschreibung, wie verschiedene Schaltflächen innerhalb des Tools positioniert sind. Die Entwicklung dieser Schicht des UX Designs erfolgte iterativ während der Besprechungen und Feedback-Runden mit den

---

<sup>73</sup> vgl. Garret, J.: *The Elements of User Experience*.

Interviewpartnern. Das Endergebnis ist im Abschnitt 7.1 in Form von grafischen Mockups dargestellt.

## 8.2 Ausblick

Die als Ergebnis dieser Forschungsarbeit entstandenen Mockups bilden eine Grundlage für den Aufbau der ersten Version des AR-Tools, das die Normen und Vorschriften erfüllt, den Anforderungen und Erwartungen der Fachleute entspricht, eine angemessene Qualität der UX bietet und nach dem aktuellen Stand der Technik erstellt werden kann. Dennoch ist der konzeptionelle Entwurf des Tools in dieser Analyse noch nicht abgeschlossen; es sollte im Designaspekt und durch das Hinzufügen weiterer Funktionalitäten verbessert werden.

### Visual design

Das Design des UX besteht aus fünf Ebenen (siehe auch Abschnitt 2.5). Die Ebenen 4 (das Skelett) und 5 (die Oberfläche) waren nicht Schwerpunkt dieser Arbeit. Daher wird empfohlen, das AR-Tool in Zusammenarbeit mit einem UX-Experten im Bereich von Benutzerfreundlichkeit bzw. visuelle Gestaltung weiterzuentwickeln.

### Feine Unterteilung von Mängeln

Tabelle 4 und Tabellen 10 bis 18 im Anhang E stellen eine stichprobenartige Unterteilung der groben Mängelkategorien in die einzelnen Mängelbezeichnungen dar. Um den konzeptionellen Entwurf des AR-Tools abzuschließen, sollten die verbleibenden IFC-Klassen ähnlich analysiert werden.

### KI in Mangelbehebungsfristsetzung und Mangelidentifikation

Eines der Themen, die für die weitere Forschung von Interesse sein können, ist die Anwendung von KI im Prozess der TGA-Abnahme. Einerseits kann die Anwendung des maschinellen Lernens auf der Grundlage der bei mehreren Bauprojekten aggregierten Daten genutzt werden, um die Mängelkategorien automatisch durch visuelle Identifikation zu erkennen. Darüber hinaus kann die KI verwendet werden, um einem Mangel eine Mangelbehebungsfrist zuzuordnen, basierend auf den zuvor zugewiesenen Fristen.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 9 Literaturverzeichnis

### 9.1 Bücher, Artikel

Abras C., Maloney-Krichmar D., Preece J.: *User-Centered Design*. In: Bainbridge, W. *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Thousand Oaks: Sage Publications, 2004.

Accenture GmbH: *Digitalisierung entzaubern – wie die deutschen Top500 digitale Blockaden lösen*. Studie. 2016.

Azuma, R.T.: *A Survey of Augmented Reality*. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4, 1997, S. 355–385.

BPM&O.: *BPM Toolmarktmonitor 2015. Marktübersicht zu BPM Systemen für Prozessautomatisierung*. Studie, 2015.

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): *Dialog Bauqualität – Endbericht*. Bearbeitung: Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. Berlin, 2002

Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort: *Standardisierte Leistungsbeschreibung für die Haustechnik (LB-HT)*. Version 07, 2005.

Bundesrechenzentrum, Organisation und Bauinformatik: *IT-Trends in der Baubranche 2016, Status quo und Perspektiven*. Studie, 2016.

Chi, H., Kang, S., Wang, X.: *Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction*. In: *Automation in Construction* 33, 2013, S. 116–122.

Garret, J.: *The Elements of User Experience*. New Riders, 2003.

Goger, G., Piskernik, M., Urban, H.: *Potenziale der Digitalisierung im Bauwesen*. Forschungsbericht. Technische Universität Wien, Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 2017.

Heinzel, A., Azhar, S., Nadeem, A.: *Uses of Augmented Reality Technology during Construction Phase*. In: 9th International Conference of Construction in the Twenty-first Century. Dubai 2017.

Kropik, A.: *Der Bauvertrag und die ÖNORM 2010*. Austrian Standards plus, Wien 2009.

Kwon, O., Park, C., Lim, C.: *A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality*. In: *Automation in Construction* 45, 2014, S. 74–81.

Lukosch S., Billinghamurst M., Alem L.: *Collaboration in Augmented Reality*. In: *Computer Supported Cooperative Work* 24, 2015, S. 515-525.

Milgram P., Kishino F.: *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*. In: *IEICE Trans. Information Systems* E77-D, no. 12, 1994, S. 1321–1329.

Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 2501:2016 08 01 – Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Planung, Ausführung und Prüfung – Ergänzende Richtlinien zu ÖNORM EN 12056 und ÖNORM EN 752*. Austrian Standards plus, 2016.

Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 2110:2013 03 15 – Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen*. Austrian Standards plus, 2013.

Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM B 5019:2017 02 15 – Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2017.

Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 12599:2012 12 15 – Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumluftechnischer Anlagen*. Austrian Standards plus, 2012.

Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 14336:2004 12 01 – Heizungsanlagen in Gebäuden – Installation und Abnahme der Warmwasser-Heizungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2004.

Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM Z 1001:2001 12 01 – Kennzeichnung von Rohrleitungen nach deren Inhalt*. Austrian Standards plus, 2001.

Österreichisches Normungsinstitut: *OVE E 8101:2019 01 01 – Elektrische Niederspannungsanlagen*. Austrian Standards plus, 2019.

Projektbeschreibung für Förderungsansuchen des Programms Stadt der Zukunft: *Einsatz von Augmented Reality zur Abnahme und Qualitätssicherung auf Baustellen*. Wien 2018.

Rogers, E.: *Diffusion of Innovations*. The Free Press of Glencoe Division of the Macmillan Co., New York, 1962.

Roland Berger: *Digitalisierung der Bauwirtschaft, der europäische Weg zu „Construction 4.0“*. Studie, 2016.

Wang, X., Dunston, P. S., Skiniewski, M.: *Mixed Reality technology applications in construction equipment operator training*. In: Proceedings of the 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2004, S. 21–25.

Stempkowski R., Waldauer E., Huber C.: *Leitfaden zur Kostenabschätzung von Planungs- und Projektmanagementleistungen, Band 3*. ÖBA. Wirtschaftskammer Österreich, 3. Auflage, Wien 2018

## 9.2 Online-Quellen

Acty: *Visual remote assistance software in augmented reality AR*. URL: <https://www.acty.com/>  
(Zugriff am 13.10.2019)

Augmented Minds: *AR/MR Devices*.

URL: <https://www.augmented-minds.com/en/augmented-reality/ar-hardware-devices/>  
(Zugriff am 13.10.2019)

Berliner BPM-Offensive: *BPMN Business Process Model and Notation Poster*.

URL: <http://www.bpmb.de/index.php/BPMNPoster> (Zugriff am 13.10.2019)

BIMCollab: *About BCF*. URL: <https://www.bimcollab.com/en/BIM/OpenBIM/BCF/>

(Zugriff am 13.10.2019)

BIM Connect: *Building Information Modeling in der Praxis*. URL: <https://bimconnect.org/>

(Zugriff am 13.10.2019)

buildingSMART: *Home - buildingSMART Technical*. URL: <http://www.buildingsmart-tech.org/>

(Zugriff am 13.10.2019)

buildingSMART: *Industry Foundation Classes Specification, Version 4, Addendum 2*.

URL: <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add2/html/> (Zugriff am 13.10.2019)

buildingSMART: *Specifications – BCF releases*.

URL: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/bcf-releases/> (Zugriff am 13.10.2019)

ConjectMI: *Manage defects on your construction projects*. URL: <http://www.conjectmi.net/>

(Zugriff am 13.10.2019)

Cohen, D., Crabtree, B.: *Qualitative Research Guidelines Project*.

URL: <http://www.qualres.org/HomeSemi-3629.html> (Zugriff am 13.10.2019)

Daqri: *Announcing Daqri Worksense*.

URL: <https://daqri.com/blog/announcing-daqri-worksense/> (Zugriff am 13.10.2019)

Daqri: *Smart Glasses*. URL: <https://daqri.com/products/smart-glasses/> (Zugriff am 13.10.2019)

Daqri: *Smart Glasses User Guide*.

URL: <https://support.daqri.com/#!/content/smart-glasses-user-guide/> (Zugriff am 13.10.2019)

Daqri: *Worksense*. URL: <https://support.daqri.com/#!/content/worksense/>

(Zugriff am 13.10.2019)

Every Interaction: *User Experience*.

URL: <https://www.everyinteraction.com/definition/user-experience/> (Zugriff am 13.10.2019)

Every Interaction: *User Interface*.

URL: <https://www.everyinteraction.com/definition/user-interface/> (Zugriff am 13.10.2019)

FCP: *Profil*. URL: <http://www.fcp.at/de/profil/> (Zugriff am 13.10.2019)

Gamma AR: *BIM and Augmented Reality for Construction Sites*. URL: <https://gamma-ar.com/> (Zugriff am 13.10.2019)

Indestry: *Hero Mirror*. URL: <https://www.indestry.com/hero-mirror> (Zugriff am 13.10.2019)

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien: *AR-AQ-BAU*.

URL: <https://www.ibb.tuwien.ac.at/zdb2/ar-aq-bau/> (Zugriff am 13.10.2019)

International Organization for Standardization: *ISO/IEC 19510:2013*.

URL: <https://www.iso.org/standard/62652.html> (Zugriff am 24.01.2020)

International Organization for Standardization: *ISO 16739-1:2018*.

URL: <https://www.iso.org/standard/70303.html> (Zugriff am 24.01.2020)

Just in Mind: *Wireframes Vs Mockups: what's the best option?*

URL: <https://www.justinmind.com/blog/wireframes-and-mockups-whats-the-best-option/> (Zugriff am 13.10.2019)

National Institute of Building Sciences: *National BIM Standard - United States*.

URL: <http://www.nationalbimstandard.org/> (Zugriff am 13.10.2019)

VASKO + PARTNER: *Vasko+Partner der Generalkonsulent*. URL: <https://vasko-partner.at/de/> (Zugriff am 13.10.2019)

## Anhang A: Interviewleitfaden

### Allgemeine Fragen und Kommunikation

1. Wie heißen Sie? Was ist Ihre Berufsbezeichnung und Verantwortlichkeiten? Wie lange arbeiten Sie schon in dem Unternehmen?
2. Wann, würden Sie sagen, beginnt und endet die Gesamtheit des Abnahme-Prozesses?
3. Welche Dokumente sind die Grundlage für die ÖBA? Richtlinien, Ausführungspläne, Leistungsbeschreibung, interne Checklisten usw. Wie kriegt die ÖBA diese Dokumente? Wann?
4. Haben Sie in-house Entscheidungshilfen für die ÖBA? Was für eine Art von ihnen? Wie oft werden sie verwendet?
5. Welche Kommunikationsmittel setzen Sie intern ein?
6. Welche Kommunikationsmittel verwenden Sie, um externe Partnern zu konsultieren?

### Abnahme-Prozess

7. Wer trifft die Entscheidung, die den Abnahme-Prozess startet? Welche Informationen benötigt er, um diese Entscheidung zu treffen? Woher kriegt er diese? Wie werden diese Informationen mitgeteilt?
8. Wer muss bei der Abnahme dabei sein? Wie werden sie informiert?
9. Welche Informationen benötigen alle Beteiligten vor der Abnahme? Wie lange im Voraus?
10. Was wird bei der TGA-Abnahme geprüft?
11. Wie sieht ein Abnahme-Protokoll aus? Welche Informationen müssen protokolliert werden?
12. Was sind die typischen Anmerkungen, die im Abnahme-Protokoll geschrieben wurden? Was sind die typische Mängel?
13. Wie wird die Abnahme-Information gespeichert? Wie wird es exportiert?
14. Wer protokolliert den ganzen Prozess? Wer muss informiert werden? Wer erhält Kopien des Protokolls? Wie werden sie versendet?
15. Was passiert mit den Informationen aus dem Abnahme-Protokoll? Wie werden sie analysiert? Sind sie wiederverwendbar? Wenn ja, wann?
16. Wie lange müssen die Protokolle archiviert werden?

### Auffassungen

17. Welche Aufgabe, würden Sie sagen, ist während der Abnahme am zeitaufwendigsten?
18. Wie viel Zeit wird für die Erstellung eines Protokolls benötigt?
19. Wie viel Zeit, würden Sie sagen, nimmt Abnahme insgesamt ein? Wie viel davon fließt in die eigentliche Arbeit?
20. Was könnte dem Prozess hinzugefügt werden, um ihn zu verbessern?
21. Was könnte aus dem Prozess entfernt werden, um ihn zu verbessern?
22. Was könnte im Laufe des Prozesses geändert werden, um ihn zu verbessern?

### Ende des Interviews

23. Gibt es noch etwas, das Sie noch sagen möchten? (zusätzliche Anmerkungen)
24. Können Sie kontaktiert werden, falls weitere Fragen entstehen? Wenn ja, wie?



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## Anhang B: Besprechungsprotokolle

Aus Datenschutzgründen sind die Protokolle in der Arbeit nicht enthalten.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

# Anhang C: Workflow-Diagramme

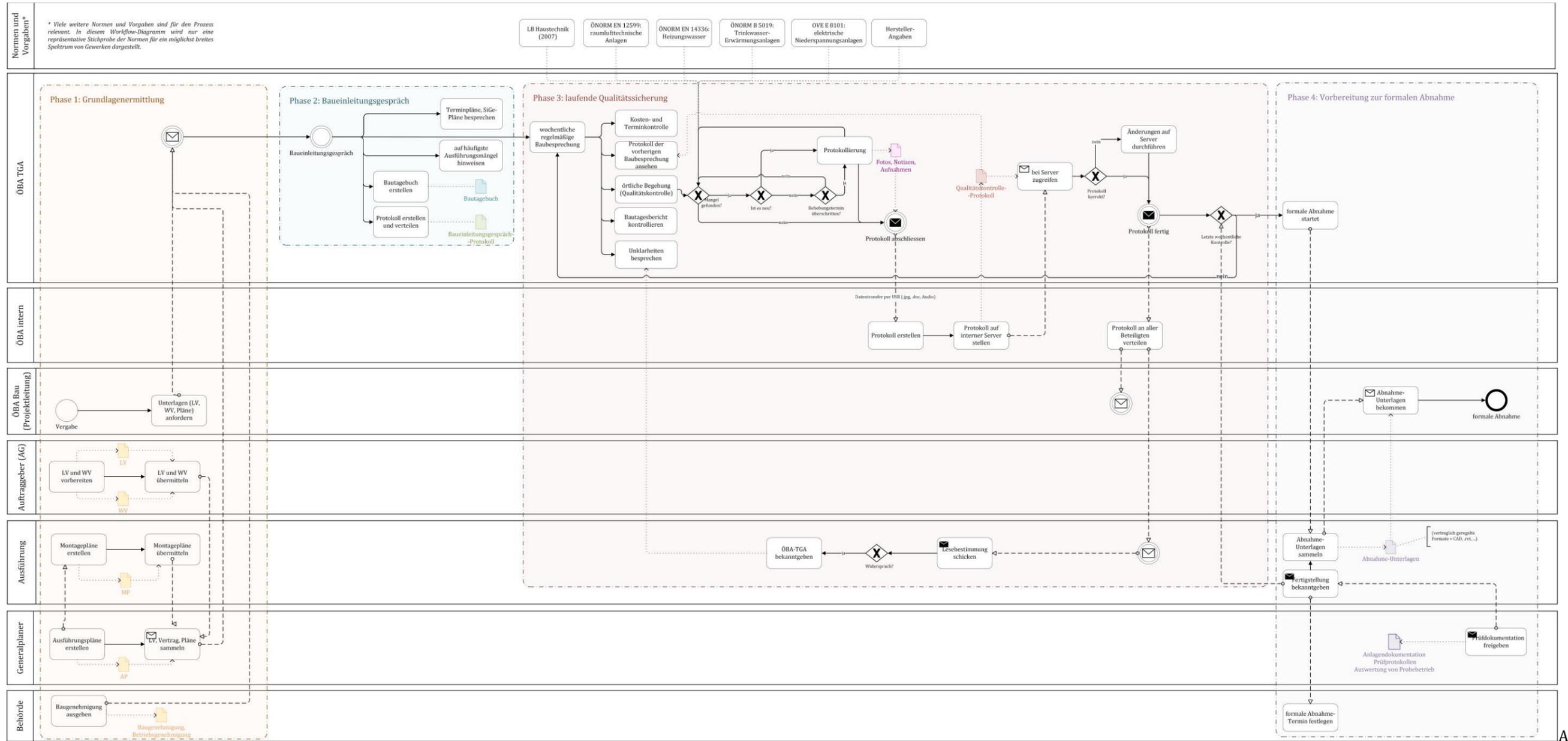


Abbildung 21. Laufende Qualitätssicherung: Variante 1

A



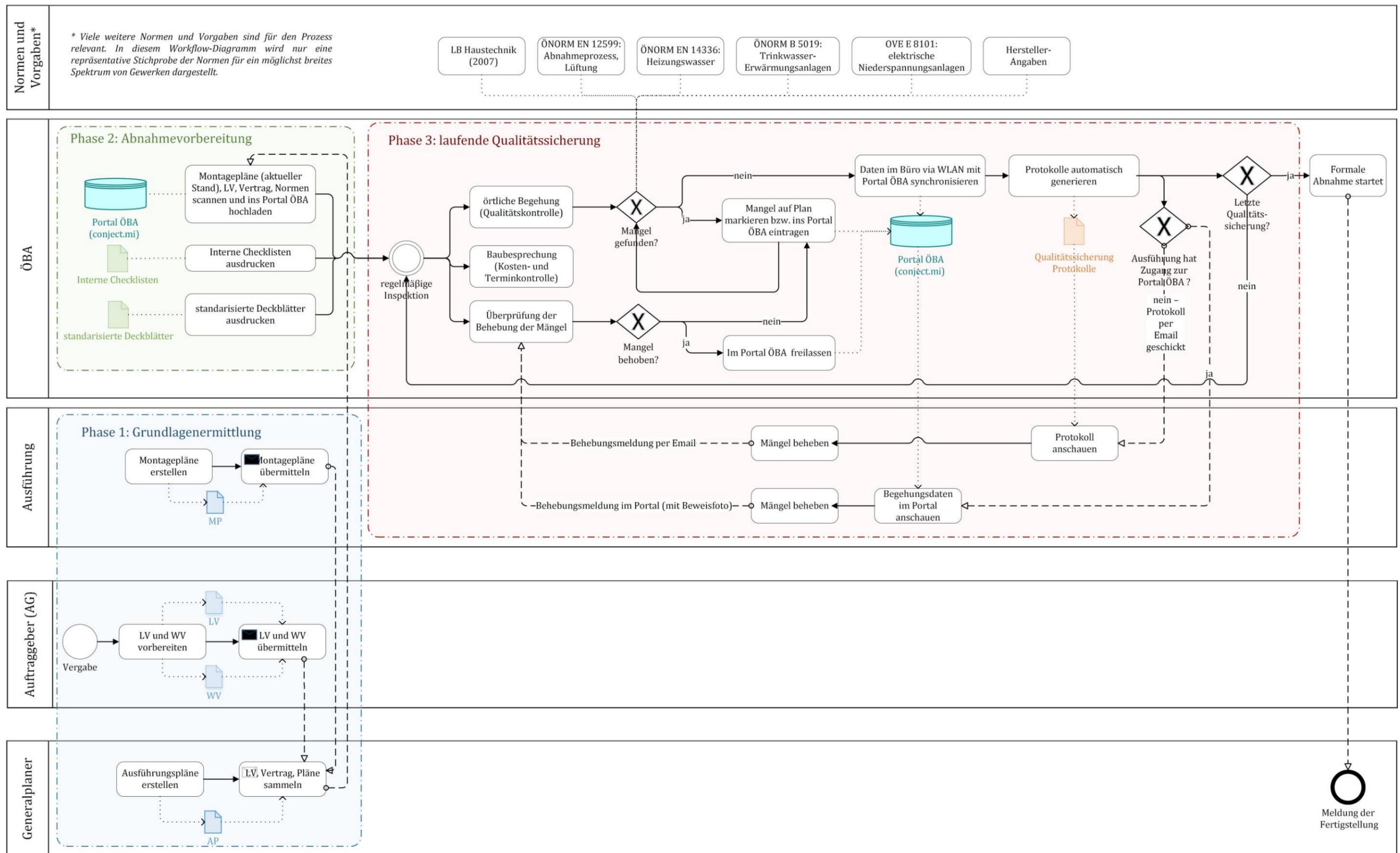


Abbildung 22. Laufende Qualitätssicherung: Variante 2



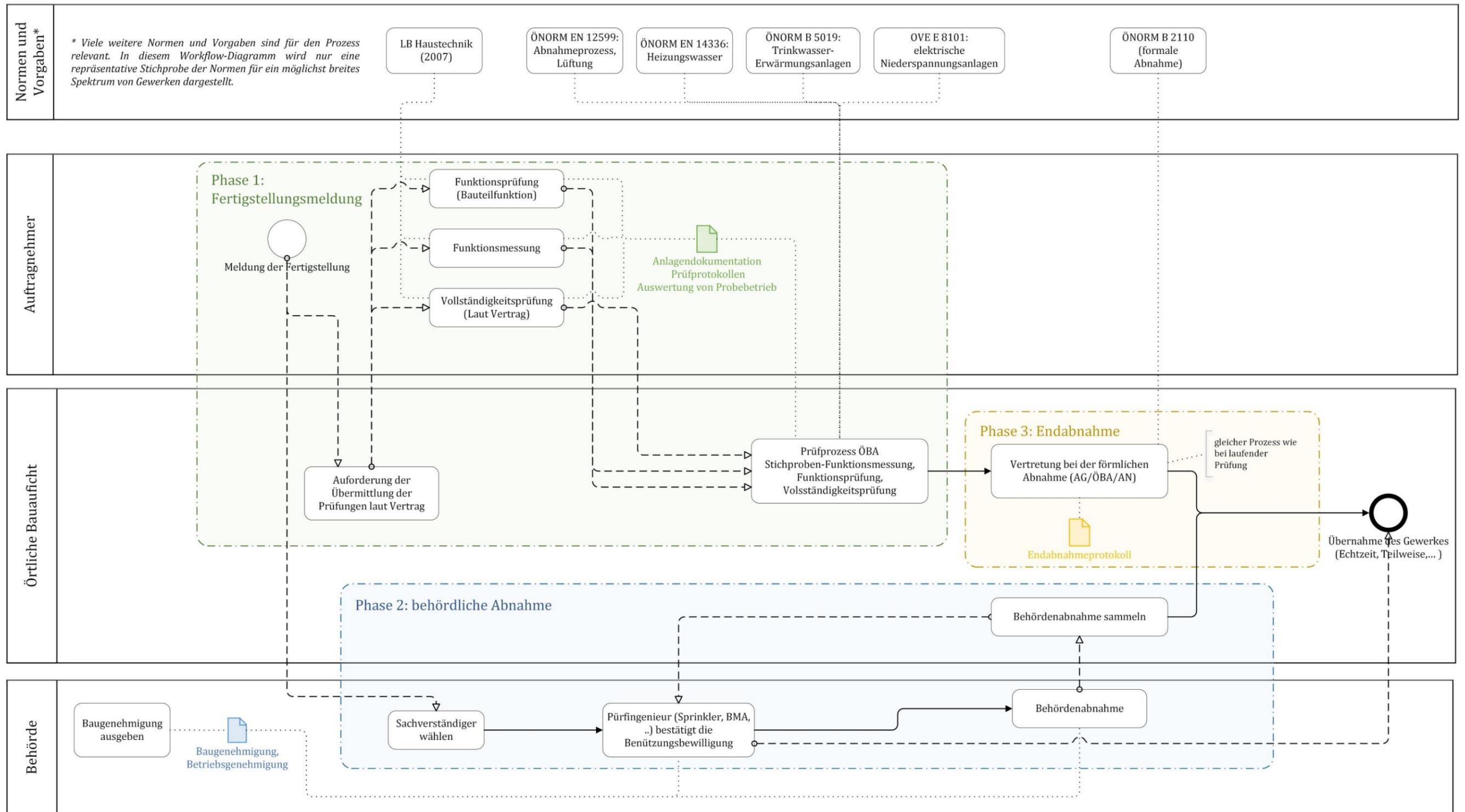


Abbildung 23. Förmliche Abnahme



## Anhang D: Häufigste Mängel nach Elementtyp

Tabelle 9. Mangeltypen nach IFC-Elementklassen (grobe Unterteilung)

Elementenklassifizierung (nach IFC-4 Add2 Dokumentation)				Mängelkategorien														
IFC Class (level 1)	IFC Class (level 2)	IFC Class (level 3)	Natural language name	Anlageeigenschaften	Bedienbarkeit	Befestigung/ Ausrichtung	Beschriftung	Dokumentation/ Prüfberichte	Funktionsfähigkeit	Kollision	mechanische Beschädigung	Planungsabweichung	Undichtigkeit/ Dämmungsmangel	Verschmutzung	Vollständigkeit	Sonstige		
IfcDistributionElement (natural name: haustechnische Komponente (allgemein))	IfcDistributionControlElement (natural name: Komponente der Gebäudeautomation (allgemein))	IfcActuator	Aktor	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
		IfcAlarm	Alarm/ Gefahrenmelder	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
		IfcController	Regler	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
		IfcFlowInstrument	Messinstrument (allgemein)	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
		IfcProtectiveDeviceTrippingUnit	Sicherungsschalter	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
		IfcSensor	Sensor	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
		IfcUnitaryControlElement	Einheitsregler	•	•	•	•	•	•		•	•		•	•	•		
	IfcDistributionFlowElement (natural name: Komponente der TGA (allgemein))	<b>IfcEnergyConversionDevice</b>	<b>Energiewandler</b>															
		IfcAirToAirHeatRecovery	Wärmerückgewinner	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcBoiler	Heizkessel	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcBurner	Brenner	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcChiller	Kältemaschine	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcCoil	Heiz-Kühlelemente	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcCondenser	Kondensator	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcCooledBeam	Kühlbalken	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcCoolingTower	Kühlturm	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcElectricGenerator	Elektrogenerator	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcElectricMotor	Elektromotor	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcEngine	Motor	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcEvaporativeCooler	Verdunstungskühler	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcEvaporator	Verdampfer	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcHeatExchanger	Wärmetauscher	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcHumidifier	Befeuchter	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcMotorConnection	Motoranschluss	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcSolarDevice	Solargerät	•		•	•	•	•		•		•			•	•	•
		IfcTransformer	Transformator	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcTubeBundle	Rohrbündel	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		IfcUnitaryEquipment	Einbaufertige Anlage	•	•	•	•	•	•		•				•		•	
		<b>IfcFlowController</b>	<b>Regler (allgemein)</b>															
		IfcAirTerminalBox	Volumenstromregler	•		•	•	•	•		•		•				•	•
		IfcDamper	Regelklappe	•		•	•	•	•		•		•				•	•
		IfcElectricDistributionBoard	Elektrischer Verteilungsregler	•		•	•	•	•		•		•				•	•
		IfcElectricTimeControl	Elektrische Zeitsteuerung	•		•	•	•	•		•		•				•	•
IfcFlowMeter	Zähler (allgemein)	•		•	•	•	•		•		•				•	•		
IfcProtectiveDevice	Sicherung	•		•	•	•	•		•		•				•	•		
IfcSwitchingDevice	Schalter	•		•	•	•	•		•		•				•	•		
IfcValve	Ventil	•		•	•	•	•		•		•				•	•		
<b>IfcFlowFitting</b>	<b>Verbinder/ Formstück (allgemein)</b>																	



Tabelle 9 (Fortsetzung). Mangeltypen nach IFC-Elementklassen (grobe Unterteilung)

Elementenklassifizierung (nach IFC-4 Add2 Dokumentation)				Mängelkategorien														
IFC Class (level 1)	IFC Class (level 2)	IFC Class (level 3)	Natural language name	Anlageeigenschaften	Bedienbarkeit	Befestigung/ Ausrichtung	Beschriftung	Dokumentation/ Prüfberichte	Funktionsfähigkeit	Kollision	mechanische Beschädigung	Planungsabweichung	Undichtigkeit/ Dämmungsmangel	Verschmutzung	Vollständigkeit	Sonstige		
IfcDistributionElement (natural name: haustechnische Komponente (allgemein))	IfcDistributionFlowElement (natural name: Komponente der TGA (allgemein))	IfcCableCarrierFitting	Kabelträger Passstück			•				•	•	•	•		•	•		
		IfcCableFitting	Kabelverbinder			•				•	•	•	•		•	•		
		IfcDuctFitting	Kanalverbinder			•				•	•	•	•		•	•		
		IfcJunctionBox	Verbindungsdose		•	•						•	•		•	•		
		IfcPipeFitting	Rohrverbinder			•					•	•	•	•		•	•	
		<b>IfcFlowMovingDevice</b>	<b>Strömungsmaschine (allgemein)</b>															
		IfcCompressor	Kompressor		•	•	•	•	•	•		•					•	
		IfcFan	Ventilator		•	•	•	•	•	•		•					•	
		IfcPump	Pumpe		•	•	•	•	•	•		•					•	
		<b>IfcFlowSegment</b>	<b>Verteiler (allgemein)</b>															
		IfcCableCarrierSegment	Kabelträgersegment				•	•	•		•	•	•	•		•	•	
		IfcCableSegment	Elektroleitungen		•		•	•			•	•	•	•		•	•	
		IfcDuctSegment	Kanal				•	•	•		•	•	•	•	•		•	
		IfcPipeSegment	Rohr				•	•	•		•	•	•	•		•	•	
		<b>IfcFlowStorageDevice</b>	<b>Speicher (allgemein)</b>															
		IfcElectricFlowStorageDevice	Elektrisches Speichergerät		•	•	•	•	•	•	•	•					•	
		IfcTank	Tank		•	•	•	•	•	•	•	•					•	
		<b>IfcFlowTerminal</b>	<b>Endgerät (allgemein)</b>															
		IfcAirTerminal	Luftauslass		•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		IfcElectricAppliance	Elektrisches Gerät		•	•	•	•	•	•	•	•				•	•	
		IfcFireSuppressionTerminal	Feuerlöscheinrichtung		•		•	•	•	•	•	•				•	•	
		IfcLamp	Lampe/ Leuchtmittel		•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	
		IfcLightFixture	Leuchte		•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	
		IfcOutlet	Dose/ Steckdose		•	•	•		•	•	•	•				•	•	
		IfcSanitaryTerminal	Sanitäreinrichtung		•	•	•		•	•	•	•			•	•	•	
		IfcSpaceHeater	Heizkörper		•	•	•		•	•	•	•			•	•	•	
		IfcStackTerminal	Rohrabdeckung		•	•	•		•	•	•	•				•	•	
		IfcWasteTerminal	Ablauf/ Abscheider		•	•	•		•	•	•	•				•	•	
		<b>IfcFlowTreatmentDevice</b>	<b>Filter</b>															
		IfcDuctSilencer	Kanalschalldämpfer		•		•	•	•	•	•		•		•			•
		IfcFilter	Filter		•		•	•	•	•	•		•					•
		IfcInterceptor	Abscheider		•		•	•	•	•	•		•					•
		IfcBuildingElementProxy andere		Bauteil/ Bauelement – beliebig andere	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



## Anhang E: Feine Unterteilung von Mängeln

Tabelle 10. IfcAirTerminal Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

Luftauslass IfcAirTerminal	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Zuluftströmung laut Montageplan nicht gewährleistet
	Brandschutz des Tellerventils nicht gewährleistet
	Funktion Lüftungsgitter fragwürdig
	Falsche Tellerventile eingebaut
	Tellerventile statt Abluftgitter montieren
<b>Bedienbarkeit</b>	-
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Lüftungsauslässe waagrecht ausrichten
	Tellerventil ausrichten
	Fächerauslass ausrichten
	Drallauslass ausrichten
	Abdeckung bei Fächerauslass locker
	Lüftungsgitter: Lamelle verstellt
<b>Beschriftung</b>	Messlüftungsöffnungen beschriften
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Inbetriebnahmeprotokoll ist zu übermitteln
<b>Funktionstüchtigkeit</b>	-
<b>Kollision</b>	-
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Tellerventil beschädigt
	Lüftungsgitter beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	Anordnung Tellerventile Zu- und Abluft nicht laut Montageplan
	Fächerauslass entspricht nicht dem Plan
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	Schalldämmung bei Lüftungsauslass fehlt
	Hohe Luftgeräusche bei Lüftungsauslass
<b>Verschmutzung</b>	Luftauslass zu reinigen
<b>Vollständigkeit</b>	Tellerventil fehlt
	Lüftungsauslass fehlt
	Abluftgitter fehlt
	Abdeckung bei Lüftungsauslass fehlt
<b>Sonstige</b>	Tellerventil Klebeband entfernen
	Fächerauslass „pfeift“
	Folie bei Abluftgitter entfernen
	Malerei bei Lüftungsgitter offen

Tabelle 11. IfcSanitaryTerminal Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Sanitäreinrichtung IfcSanitaryTerminal</i>	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Spülwassermenge beim WC zu groß eingestellt
<b>Bedienbarkeit</b>	Behinderten-WC falsch gekennzeichnet
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Seifenspender nicht ausreichend befestigt
	Waschbeckenarmatur nicht ausreichend befestigt
	WC-Sitzbrett wackelt
	Position UT-Speicher falsch
	Papierrollenhalter schief montiert
<b>Befestigung Sanitär-Accessoires mangelhaft</b>	
<b>Beschriftung</b>	-
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Inbetriebnahmeprotokoll ist zu übermitteln
	Inbetriebnahme Warmwasser offen
	Nachweis über Einbau des richtigen Waschbeckens erforderlich
	Spül-, Druckproben-, Einregulierungsprotokolle fehlen
<b>Funktionsstüchtigkeit</b>	Kein Wasser für Funktionskontrollen vorhanden
	Ablauf beim Waschtisch lässt sich nicht betätigen
	WC-Taste klemmt
	Keine Duschtasse ausgeführt, Gefälleneigung und -richtung prüfen
	Dusch-Gefälle mangelhaft
<b>Kollision</b>	Waschtisch kollidiert mit WC-Türen
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Armaturbeschichtung beschädigt
	Rissbildung sichtbar
	Kratzer in Glasscheibe
	Waschbecken ausgeschlagen
<b>Planungsabweichung</b>	-
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	Silikonfuge fehlt
	Siphon undicht
	Armatur tropft
	Wasserfleck unter Waschtisch - Überprüfung Undichtheit erforderlich
	Waschtisch augenscheinlich undicht
<b>Verschmutzung</b>	WC ist verschmutzt
	Bereich Waschbecken ist zu reinigen
	Dichtung ist verschmutzt
<b>Vollständigkeit</b>	Waschbecken noch nicht installiert
	Trafo Sensorarmatur fehlt
	Sanitär-Komplettierung ausständig
	Brauseschlauch fehlt
	Einrichtungen zum Spülen fehlen
	Handbrause fehlt
	Stöpsel fehlt
	WC-Sitz fehlt
	Dusch-Armaturen fehlen
	Seitliche Abdeckungen bei Waschtisch fehlen
Papierrollenhalter fehlt	
<b>Sonstige</b>	Abfallgitterkorb fehlt
	Malerei fehlt
	Folie bei Wasseranschluss entfernen
	Folie bei Armaturen entfernen
	Aufkleber WC-Keramik entfernen

Tabelle 12. IfcSolarDevice Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Solargerät IfcSolarDevice</i>	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Normvolumenstrom zu gering
<b>Bedienbarkeit</b>	-
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Kabel nicht angeklemt
	Kabel nicht gesichert
	Provisorischer Anschluss
<b>Beschriftung</b>	Beschriftung fehlt
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Fehlende Inbetriebnahme
	Fehlende Einschulung
	Nachweis der Netzverträglichkeitsprüfung erforderlich
	Inbetriebnahmeprotokoll ist zu übermitteln
<b>Funktionstüchtigkeit</b>	Taccosetter ist zu groß
<b>Kollision</b>	-
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Solargerät beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	Entlüftungen sind zu versetzen
	Kollektoren sind nachzujustieren
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	-
<b>Verschmutzung</b>	Kollektor nicht gereinigt
<b>Vollständigkeit</b>	Kantenschutz fehlt
	Temperaturfühler fehlt
<b>Sonstige</b>	Schutzfolie nicht entfernt

Tabelle 13. IfcPipeSegment Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Rohr</i> IfcPipeSegment	
<b>Anlageeigenschaften</b>	–
<b>Bedienbarkeit</b>	–
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Leitung zusätzlich befestigen
	Leitung gerade ausrichten
	Leitung wackelt
	Befestigung Leitung mangelhaft
	Anlage nicht exakt nach dem freigegebenen Heizungsschema errichtet
<b>Beschriftung</b>	Beschriftung Fußbodenheizverteiler fehlt
	Beschriftung der Heizungsleitungen fehlt
	Beschriftung fehlt
	Gasleitung – fehlende gelbe Markierung
	Ablaufleitung mit schwarz/ gelben Markierband versehen
	Richtungspfeile fehlen
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Fehlende Prüfung für hohe Temperaturen
	Nachweis über den hydraulischen Abgleich fehlt
	Fertigstellung der Leitung fehlt
<b>Funktionsstüchtigkeit</b>	–
<b>Kollision</b>	Kollision mit der Tür – Tür öffnet nicht
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Leitung beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	Leerrohr kürzen
	Verrohrung kürzen
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	Wasserleitung undicht
	Heizungsleitungen nachisolieren
	Armaflex an Rohr fehlt
	Isolierung entfernen
	Isolierung auf Armaflex tauschen
<b>Verschmutzung</b>	–
<b>Vollständigkeit</b>	Brandabschottung bei Leitungen mangelhaft
<b>Sonstige</b>	Übertragung der Vibrationen auf die Leitung
	Durch die Zirkulationsleitung fließt nichts durch
	Rohr entfernen

Tabelle 14. IfcJunctionBox Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

Verbindungsdose IfcJunctionBox	
<b>Anlageeigenschaften</b>	-
<b>Bedienbarkeit</b>	Bodendose lässt sich nicht öffnen
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Bodendose klemmt
	Montage Bodendose mangelhaft
	HDMI-Kabel in der Bodendose mit Kabelbinder am Rohr befestigt Befestigung Bodendose mangelhaft
<b>Beschriftung</b>	-
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	-
<b>Funktionsstüchtigkeit</b>	-
<b>Kollision</b>	-
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Bodendose zerkratzt
	Loch in Bodendose
	Bodendose gebrochen
	Bodendose beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	Klemmdosen versetzen
	Position Bodendose falsch
	Bodendose Aufteilung prüfen
	Bodendose ausfüllen – Höhenunterschied + Silikonfugen Bodenübergang
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	-
<b>Verschmutzung</b>	Bodendose verschmutzt
	Teppich Bodendose verschmutzt
	Reinigung Hohlraum unter Bodendose mangelhaft
<b>Vollständigkeit</b>	Komplettierung Bodendose offen
	Bodendose fehlt
	Dosenabdeckung fehlt
	Fliesen in Bodendosen fehlen
	Teppich Bodendose fehlt
	Linol-Bodendose fehlt
	Nachweis über Einbau des Quellbandes erforderlich
	Hebel zum Öffnen fehlt
Bodendose: Plastikteile unvollständig	
<b>Sonstige</b>	Bodendose – falsche Farbe
	Bodendose knarrt
	Kabeleinführung mangelhaft

Tabelle 15. IfcCableSegment Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Elektroleitungen</i> IfcCableSegment	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Falscher LAN-Anschluss Kabel statt Drähte
<b>Bedienbarkeit</b>	-
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Freie Leitungen (nicht in ein Tragsystem eingebunden) Provisorische Verkabelung Provisorischer Anschluss Kabeleinführung offen Leitungen sind an Decke zu befestigen Verkabelung ausrichten Kabelbefestigung mangelhaft Kabel in Kabeltasse legen Kabel zusammenrollen Kabel klemmen
<b>Beschriftung</b>	Beschriftung fehlt LAN-Beschriftung nicht einheitlich
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	-
<b>Funktionsfähigkeit</b>	-
<b>Kollision</b>	Abstand zu Sprinkler zu gering Kabel für Türschließer aus Türstock entfernen
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Kabel beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	LAN-Kabel im falschen Rack aufgelegt HDMI-Kabel zu kurz Kabellänge prüfen
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	Kabel nicht abisoliert Isolierung an Fühlerleitung mangelhaft Kabeldurchführung Brandschott offen
<b>Verschmutzung</b>	-
<b>Vollständigkeit</b>	Internetanschluss fehlt LWL (Lichtwellenleiter) noch nicht aufgelegt POT-Anschluss fehlt Providerleitung fehlt Verkabelung fehlt Verkabelung ZUKO (Zutrittskontrolle) fehlt Reedkontakt-Kabel für Fenster nicht verlegt und angeschlossen Verkabelung bei Leerdose RBG fehlt Erdungsverbinding fehlt
<b>Sonstige</b>	Nicht benötigte Kabel entsorgen Kabel soll nicht sichtbar sein

Tabelle 16. IfcFireSuppressionTerminal Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Feuerlöscheinrichtung</i> IfcFireSuppressionTerminal	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Falscher Typ von Sprinkler
<b>Bedienbarkeit</b>	–
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Wandhydrant – Schlauchhaspel verkehrt angeschlagen Feuerlöscher umpositionieren
<b>Beschriftung</b>	Prüfplakette bei Hydranten fehlt Bezeichnungsschilder bei Sprinkler fehlen Aufkleber bei Wandhydrant fehlt
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Inbetriebnahmeprotokoll ist zu übermitteln Sprinkler-Dokumentation nicht vorhanden
<b>Funktionsstüchtigkeit</b>	Schließmechanismus bei Feuerlöschkasten fehlt Schließmechanismus bei Hydrantenkasten mangelhaft
<b>Kollision</b>	Abstand der Sprinkler zur Kabelleitung zu gering
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Hydrantenkasten zerkratzt Kantenschutz Hydrantenkasten ergänzen
<b>Planungsabweichung</b>	–
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	–
<b>Verschmutzung</b>	Wandhydrant innen reinigen Hydrantenkasten verschmutzt
<b>Vollständigkeit</b>	Sprinkler fehlt Feuerlöscher liefern
<b>Sonstige</b>	Einschulung Sprinklerwart offen Loch unter Hydrantenkasten schließen

## Anhang E: Feine Unterteilung von Mängeln

Tabelle 17. IfcDuctSegment Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Kanal</i> IfcDuctSegment	
<b>Anlageeigenschaften</b>	–
<b>Bedienbarkeit</b>	–
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Lüftungsleitung ausrichten Lüftungsleitung mit Wandflucht ausrichten
<b>Beschriftung</b>	Entlüftungsleitungen beschriften Beschriftung fehlt Richtungspfeile fehlen
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Fertigstellung Lüftungsleitung ausständig Pläne an tatsächliche Leitungsführung anpassen
<b>Funktionsfähigkeit</b>	–
<b>Kollision</b>	Lüftungskanal bei Fluchtweg zu niedrig
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Lüftungskanal beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	Lüftungsleitung stimmt nicht mit Plan überein
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	Brandabschottung mangelhaft bei Lüftungskanälen Brandabschottung fehlt Promatverkleidung fehlt Isolierung an Lüftungskanälen mangelhaft Zuluftkanal mit Steinwolle nachisolieren Lüftungskanäle mit Armaflex nachisolieren
<b>Verschmutzung</b>	Lüftungsleitung innen reinigen
<b>Vollständigkeit</b>	–
<b>Sonstige</b>	Starke Strömungsgeräusche in Lüftungsleitung Potentialausgleich mangelhaft

Tabelle 18. IfcLamp Mängelklassifizierung (feine Unterteilung)

<i>Lampe/ Leuchtmittel</i> IfcLamp	
<b>Anlageeigenschaften</b>	Sicherheitsbeleuchtung auf Bereitschaft schalten
	Programmierung Beleuchtung prüfen
	Beleuchtungssteuerung prüfen
	Leuchtmittel tauschen
	Beleuchtung verschiedene Lichtfarben
<b>Bedienbarkeit</b>	Unterschiedliche Beleuchtungsstärke
	Schalter für Beleuchtung nicht bedienbar für Rollstuhlfahrer
<b>Befestigung/ Ausrichtung</b>	Ausrichtung der Leuchten mangelhaft
	Leuchte mittig montieren
	Aufhängung Leuchte mangelhaft
	Spiegelleuchtenauslass tiefer setzen
<b>Beschriftung</b>	-
<b>Dokumentation/ Prüfberichte</b>	Nachweise der erforderlichen Beleuchtungsstärke notwendig
	Inbetriebnahme Beleuchtung offen
	Tatsächliche Position der Beleuchtung im Plan nachführen
<b>Funktionsfähigkeit</b>	Beleuchtung funktioniert nicht
	Leuchte defekt
	Leuchte flackert
<b>Kollision</b>	-
<b>Mechanische Beschädigung</b>	Leuchte beschädigt
<b>Planungsabweichung</b>	Bohrungen für Deckenlampen falsch
	Beleuchtung stimmt nicht mit Plan überein
	Leuchtenhöhe unterschiedlich
	Leuchtenposition falsch
<b>Undichtigkeit/ Dämmungsmangel</b>	-
<b>Verschmutzung</b>	Leuchte reinigen
<b>Vollständigkeit</b>	Leuchten nicht vorhanden, Kabel nicht abisoliert
	Beleuchtung fehlt
	Abdeckung Einbau Downlight fehlt
	Abdeckung Lichtschiene fehlt
	Aufhängungen Leuchten versorgen
	Schalter für Beleuchtung fehlt
<b>Sonstige</b>	Schutzfolie bei der Leuchten entfernen
	Abdeckungen Beleuchtung entfernen