

Informationsmanagement für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von

Nikolaj Meluzov

aus

Barnaul

2022

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Friedrich Wirz

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Dezember 2021

Wissen schafft Innovation

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Christian Nedeß

Anschrift:

Technische Universität Hamburg

Institut für Produktionsmanagement und -technik

Denickestraße 17

21073 Hamburg

Band 48:

Nikolaj Meluzov

Informationsmanagement für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem

1. Auflage

Hamburg 2022

ISSN 1613-8244

Copyright Nikolaj Meluzov 2022

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement und -technik der Technischen Universität Hamburg.

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter des Institutes und meinem Erstgutachter Herrn Professor Hermann Lödding für die Betreuung meiner Arbeit, für die wertvollen Anregungen und Kommentare sowie für die Unterstützung bei der schriftlichen Ausarbeitung. Herrn Professor Friedrich Wirz danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und für das Interesse an meiner Arbeit. Herrn Professor Thorsten Schüppstuhl danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Ich danke herzlich dem gesamten Kollegium für die tolle Zusammenarbeit, die vielen neuen Freundschaften, die gemeinsamen Reisen und Freizeitaktivitäten sowie für die große Hilfe in schweren Zeiten. Ein besonders großer Dank gilt Herrn Robert Rost für die technische Unterstützung bei der Umsetzung meiner Forschungsergebnisse, für die unvergesslichen Momente und Erlebnisse im Büro und auf Dienstreisen sowie für den großen freundschaftlichen Rückhalt in kritischen Situationen. Dem Oberingenieur des Institutes Dr. Axel Friedewald danke ich für die Einbringung seiner langjährigen Erfahrung und seiner strategischen Weitsicht in unseren gemeinsamen Projekten sowie für seine direkte Art, seinen Humor und die gemeinsame Zeit auf Konferenzreisen.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Phillip Halata für die Unterstützung bei meiner Einstellung am Institut, für die zahlreichen Ratschläge während der Umsetzung meiner Promotion sowie für das langjährige freundschaftliche Verhältnis. Frau Barbara Halata danke ich für das finale Lektorat sowie die vielen Unterhaltungen in netter Runde.

Darüber hinaus danke ich allen Studierenden, die mich im Rahmen ihrer Abschlussarbeiten unterstützt haben. Herrn Ahmed Elzalabany danke ich für die technische Unterstützung bei der Umsetzung der Software-Prototypen. Herrn Christopher Mundt danke ich für die umfangreiche Evaluation meiner Arbeit sowie für sein großartiges Engagement und Durchhaltevermögen. Herrn Jannick Meyer danke ich für die Unterstützung und Gestaltung der Software-Prototypen sowie für die gemeinsamen Sporteinheiten und das freundschaftliche Verhältnis.

Mein persönlicher Dank gilt meiner Familie, die mich immer bestärkt hat und mit Geborgenheit an meiner Seite stand. Ich danke meiner Freundin Kristina Ruff, die mich mit ihrer unendlichen Geduld und Stärke während der gesamten Promotion begleitet und entlastet hat. Meinen lieben Eltern habe ich alles zu verdanken. Mein Vater Sergej Meluzov hat mich gelehrt, die Dinge mit Geduld und Ausdauer anzugehen und nichts zu überstürzen. Meine Mutter Elvira Meluzova hat mich mit ihrer unglaublichen Stärke und ihrer Liebe zur mir mit allen verfügbaren Mitteln auf meinem Weg unterstützt und alle meine Entscheidungen befürwortet.

Hamburg im Januar 2022

Nikolaj Meluzov

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Zielsetzung | 2 |
| 1.2 | Aufbau der Arbeit | 3 |
| 2 | Stand der Technik | 5 |
| 2.1 | Instandhaltung | 5 |
| 2.1.1 | Maßnahmen | 6 |
| 2.1.2 | Strategien | 7 |
| 2.2 | Informationsmanagement | 8 |
| 2.2.1 | Begriffseinordnung | 8 |
| 2.2.2 | Technische Dokumentation | 10 |
| 2.3 | Neuartige Technologien und Potenziale | 13 |
| 2.3.1 | Multimodale Anleitungen | 13 |
| 2.3.2 | Virtuelle Technologien | 15 |
| 2.3.3 | Industrietransfer | 17 |
| 2.4 | Zielsetzung der Arbeit | 22 |
| 3 | Prozesse, Aufwände und Anforderungen | 25 |
| 3.1 | Redaktionsprozesse und Handlungsbereiche | 25 |
| 3.1.1 | Redaktionsprozesse | 25 |
| 3.1.2 | Handlungsbereiche | 28 |
| 3.2 | Instandhaltungsprozesse und Informationsbedarfe | 30 |
| 3.2.1 | Instandhaltungsprozess | 30 |
| 3.2.2 | Informationsbedarfe | 31 |
| 3.3 | Papieranleitungen und ihre Anwendungsdefizite | 33 |
| 3.3.1 | Aufbau und Inhalte | 33 |
| 3.3.2 | Suchaufwände in Papieranleitungen | 34 |
| 3.4 | Fazit der Analyse | 36 |
| 3.5 | Anforderungen | 37 |
| 3.5.1 | Informationsorganisation | 38 |
| 3.5.2 | Aufwandsarme Inhaltserstellung | 38 |
| 3.5.3 | Anwendergerechte Visualisierung und Rückmeldung | 39 |
| 3.5.4 | Praxistauglichkeit | 40 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4 | Informationsmodellierung und Systemaufbau | 41 |
| 4.1 | Informationsmodellierung | 41 |
| 4.1.1 | Informationskategorien | 41 |
| 4.1.2 | Verknüpfung von Informationen | 43 |
| 4.2 | Systemaufbau | 44 |
| 4.2.1 | Modularisierung | 44 |
| 4.2.2 | Interaktion | 45 |
| 4.3 | Technologie- und Hardwareauswahl | 46 |
| 5 | Informationsmanagement für digitale Anleitungen | 49 |
| 5.1 | Überblick über das Konzept | 49 |
| 5.2 | Erstellung digitaler Anleitungen | 51 |
| 5.2.1 | Arbeitsschritte | 52 |
| 5.2.2 | Zusatzinformationen | 55 |
| 5.2.3 | Animationen | 57 |
| 5.2.4 | Automatisierung | 58 |
| 5.2.5 | Virtual Reality | 67 |
| 5.2.6 | Menüsteuerung | 71 |
| 5.2.7 | Inhaltsplanung | 73 |
| 5.2.8 | Inhaltszusammenstellung | 75 |
| 5.3 | Mobiles Instandhaltungsassistenzsystem | 78 |
| 5.3.1 | Multimedialität | 80 |
| 5.3.2 | Benutzeroberfläche | 80 |
| 5.3.3 | Digitale Anleitungen | 82 |
| 5.3.4 | Augmented Reality | 83 |
| 5.3.5 | Digitale Dokumentation | 84 |
| 5.4 | Verwaltung digitaler Anleitungen | 86 |
| 5.4.1 | Benutzerverwaltung und Zugriffsrechte | 86 |
| 5.4.2 | Projekt- und Auftragsstrukturierung | 87 |
| 5.4.3 | Anbindung an die Unternehmens-IT | 88 |
| 5.4.4 | Überführung bestehender Anleitungen | 88 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|------------|
| 6 | Evaluation | 91 |
| 6.1 | Industrielle Anwendungsbeispiele | 92 |
| 6.1.1 | Kompressor | 92 |
| 6.1.2 | Antriebsmotor | 93 |
| 6.2 | Produktivitätsuntersuchungen im Labor | 94 |
| 6.2.1 | Informationserstellung | 94 |
| 6.2.2 | Informationsanwendung | 96 |
| 6.3 | Praxiseinsatz | 99 |
| 6.3.1 | Technische Redaktion | 100 |
| 6.3.2 | Technischer Service | 103 |
| 7 | Schlussbetrachtung | 107 |
| 7.1 | Zusammenfassung | 107 |
| 7.2 | Ausblick | 108 |
| | Literatur | 109 |
| | Anhang | 119 |
| | Lebenslauf | 129 |

| | |
|------|--|
| AR | Augmented Reality |
| BPMN | Business Process Model and Notation |
| CAD | Computer-aided Design |
| CMS | Content Management System |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| DOCX | Document in Extensible Markup Language |
| EN | Europäische Norm |
| ER | Entity Relationship |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| ISO | International Organization for Standardization |
| KAI | Key Action Information |
| PDF | Portable Document Format |
| PDM | Product Data Management |
| PLM | Product Lifecycle Management |
| SUS | System Usability Scale |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |
| VR | Virtual Reality |
| XML | Extensible Markup Language |
| UML | Unified Modeling Language |

| | | |
|---------|---|----|
| Abb. 1 | Aufbau der Arbeit | 3 |
| Abb. 2 | Branchenvergleich zwischen Entwicklungs- und Nutzungszeit | 5 |
| Abb. 3 | Grundmaßnahmen der Instandhaltung | 6 |
| Abb. 4 | Grundstrategien der Instandhaltung | 7 |
| Abb. 5 | Wissenstreppe | 9 |
| Abb. 6 | Überblick über die Unternehmensdokumentation | 10 |
| Abb. 7 | Technische Dokumentation entlang des Produktlebenszyklus | 11 |
| Abb. 8 | Charakteristische Nachteile der Papierdokumentation | 12 |
| Abb. 9 | Strukturmerkmale eines Utility-Films | 14 |
| Abb. 10 | Key-Action-Information-Modell | 14 |
| Abb. 11 | Abgrenzung der Technologien Augmented und Virtual Reality | 16 |
| Abb. 12 | Charakteristische Nutzeffekte virtueller Technologien | 16 |
| Abb. 13 | Unterstützungsformen digitaler Assistenzsysteme | 18 |
| Abb. 14 | Assistenzsystem zur Visualisierung von Montageinformationen | 18 |
| Abb. 15 | Redaktionsprozess in einer verallgemeinerten Form | 25 |
| Abb. 16 | Tätigkeiten während der Illustrationserstellung | 26 |
| Abb. 17 | Aufwände während der Texterstellung | 27 |
| Abb. 18 | Aufwandsverteilung in der Technischen Redaktion | 29 |
| Abb. 19 | Instandhaltungsprozess in generalisierter Form | 30 |
| Abb. 20 | Informationsbedarf in Abhängigkeit von der Produktkomplexität | 31 |
| Abb. 21 | Informationsbedarf für den Instandhaltungsprozess | 32 |
| Abb. 22 | Bereitstellung von Papierdokumenten am Beispiel der Wartung | 32 |
| Abb. 23 | Aufwändige Handhabung von Papieranleitungen | 33 |
| Abb. 24 | Suchaufwände und Fehleranfälligkeit von Papieranleitungen | 35 |
| Abb. 25 | Gegenüberstellung von Ist- und Soll-Zustand | 37 |
| Abb. 26 | Prinzip für die Informationsmodellierung und den Systemaufbau | 41 |
| Abb. 27 | Schematische Darstellung des Datenmodells | 43 |
| Abb. 28 | Komponentenstruktur | 45 |
| Abb. 29 | Technologieauswahl Director | 47 |
| Abb. 30 | Technologieauswahl Creator | 47 |
| Abb. 31 | Technologieauswahl Visualizer | 48 |
| Abb. 32 | Gegenüberstellung Papier und mobile Assistenzsysteme | 49 |
| Abb. 33 | Überblick über den Aufbau des Konzeptes | 50 |
| Abb. 34 | Überblick über die zwei Anwendungen zur Erstellung | 51 |
| Abb. 35 | Ablauf für das Anlegen neuer Arbeitsschritte | 52 |
| Abb. 36 | Ablauf für das Bearbeiten von Arbeitsschritten | 52 |

| | | |
|---------|--|----|
| Abb. 37 | Konzept für eine Benutzerschnittstelle zur Erstellung | 53 |
| Abb. 38 | Benutzeroberfläche des Desktop Creators | 55 |
| Abb. 39 | Konzept und Vorgänge zur Verknüpfung von Zusatzinformationen | 56 |
| Abb. 40 | Ablauf für die Erstellung von Animationen | 58 |
| Abb. 41 | Ablauf zur Aufnahme der Bewegungsanimationen | 58 |
| Abb. 42 | Zuordnung von Automatisierungsansätzen | 59 |
| Abb. 43 | Ablauf für die iterative Demontagereihenfolgebildung | 59 |
| Abb. 44 | Kollisionsfreie und kollidierende Schrauben-Ausbaurichtungen | 60 |
| Abb. 45 | Ablauf für die Bauteilbenennung anhand der Metadaten | 61 |
| Abb. 46 | Ablauf für die Erkennung und Kategorisierung von Bauteilen | 62 |
| Abb. 47 | Ein- und Ausgabepaare zum Aufbau von Trainingsdaten | 63 |
| Abb. 48 | Fallunterscheidung der Text- und Geometrieerkennung | 63 |
| Abb. 49 | Ablauf für die Zuordnung von Tätigkeitsbeschreibungen | 64 |
| Abb. 50 | Bauteilliste mit aufgabentypischen Handlungsbeschreibungen | 64 |
| Abb. 51 | Illustrierte Ergebnisse der automatischen Arbeitsplangenerierung | 65 |
| Abb. 52 | Automatische Generierung der Anleitung | 66 |
| Abb. 53 | Ablauf für die automatische Animationsgenerierung | 66 |
| Abb. 54 | Konventionelle Planung und der Einsatz von Virtual Reality | 68 |
| Abb. 55 | Konzept für ein immersives Menü | 69 |
| Abb. 56 | Technische Umsetzung der Benutzerschnittstelle des VR-Creators | 70 |
| Abb. 57 | Zuordnung der Menübedienung zu den Eingabegeräten | 72 |
| Abb. 58 | Darstellung von bauteilbezogenen Anmerkungen in VR | 74 |
| Abb. 59 | Überblick über die Vor- und Nachteile möglicher Alternativen | 75 |
| Abb. 60 | Technische Umsetzung des immersiven Menüs | 76 |
| Abb. 61 | Visualisierung der automatisch generierten Pfade und Bewegungen | 77 |
| Abb. 62 | Greifen und Bewegen von Objekten zur Animationsaufnahme | 78 |
| Abb. 63 | Konventionelle und digitale Informationsbereitstellung | 79 |
| Abb. 64 | Entwurf für die Anordnung der grundlegenden Informationen | 81 |
| Abb. 65 | Umsetzung des digitalen Instandhaltungsassistenzsystems | 82 |
| Abb. 66 | Nutzung der Augmented-Technologie | 84 |
| Abb. 67 | Überblick über die Teilaspekte der Informationsverwaltung | 86 |
| Abb. 68 | Aufbau digitaler Anleitungen als Projektstruktur | 87 |
| Abb. 69 | Zuordnungskriterien digitaler Anleitungen | 87 |
| Abb. 70 | Vereinfachter Datenzugriff über eine Benutzeroberfläche | 87 |
| Abb. 71 | Wiederverwendung von Inhalten aus Papieranleitungen | 88 |
| Abb. 72 | Datenüberführung auf digitale Assistenzsysteme | 89 |

| | | |
|---------|--|-----|
| Abb. 73 | Übersicht über die Anforderungen an das Konzept der Arbeit | 91 |
| Abb. 74 | Beispielhafte Einblicke in die Instandhaltung eines Kompressors | 92 |
| Abb. 75 | Beispielhafte Einblicke in die Instandhaltung eines Antriebsmotors | 93 |
| Abb. 76 | Übersicht über die Versuche und Anwendungsbeispiele | 94 |
| Abb. 77 | Übersicht über die Versuche zur Erfassung der Produktivität | 94 |
| Abb. 78 | Auswertung der Versuche zur Inhaltserstellung | 95 |
| Abb. 79 | Auswertung der Versuche zur Animationsgenerierung | 96 |
| Abb. 80 | Einblicke in die Testumgebung | 96 |
| Abb. 81 | Wartungsaufgaben mit unterschiedlichen Informationsformaten | 97 |
| Abb. 82 | Handhabungsaufwände unterschiedlicher Informationsformate | 97 |
| Abb. 83 | Ausführungsfehler | 98 |
| Abb. 84 | Bewertung der Nutzerakzeptanz | 99 |
| Abb. 85 | Einblicke in die Softwareeinführung | 100 |
| Abb. 86 | Redaktionsaufgaben, Softwarewerkzeuge und Hardware | 100 |
| Abb. 87 | Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des VR Creators | 101 |
| Abb. 88 | Gebrauchstauglichkeit des Automatischen Demontageassistenten | 102 |
| Abb. 89 | Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Desktop Creators | 102 |
| Abb. 90 | Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Visualizers | 103 |
| Abb. 91 | Mitarbeiter während der Ausführung von Wartungsarbeiten | 104 |
| Abb. 92 | Tätigkeitsanteile während der Aufgabenausführung | 104 |
| Abb. 93 | Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Visualizers | 105 |

1 Einleitung

Um die technische Verfügbarkeit von Maschinen, Anlagen und komplexen Gebrauchsgütern sicherzustellen und deren Betrieb zu erhalten, müssen Instandhaltungsarbeiten durchgeführt werden. Planmäßige und vorbeugende Maßnahmen sind notwendig, um das Ausfallrisiko zu minimieren [Maty16, S. 27].

Für die Instandhaltungsarbeiten stehen den Technikern und Mechanikern unterschiedliche Dokumente zur Verfügung. Dazu gehören z. B. Bordbücher, Wartungspläne und Prüfberichte. Das zentrale Dokument der Instandhaltung bildet jedoch die Technische Dokumentation [VDI 4500, S. 8]. Diese wird mit dem gekauften Produkt von der Herstellerfirma an den Kunden bzw. den Betreiber, meist in Papierform oder als elektronische Kopie, übergeben und beinhaltet eine Sammlung aller notwendigen Wartungs- und Reparaturanleitungen. Die Anleitungen enthalten Gefahr- und Sicherheitshinweise, Tätigkeitsbeschreibungen, Zeichnungen zur Darstellung des Produktaufbaus und technische Datenblätter mit Zusatzinformationen.

Die Bereitstellung der technischen Anleitungen per Ausdruck auf Papier bringt charakteristische Nachteile mit sich: Bei komplexen Produkten und umfangreichen Arbeiten erstrecken sich die Anleitungen häufig über mehrere hundert Seiten, die aufwändig von der Technischen Redaktion erstellt werden. Auch die Handhabung der ausgelieferten Papieranleitungen ist umständlich. Die Instandhalter müssen lange Texte lesen und die Zusatzinformationen aus Datenblättern und Listen herausuchen. Wenn sie die Dokumente nicht vollständig lesen, bleiben wichtige Informationen unberücksichtigt. Im schlimmsten Fall führt dies zum Stillstand oder sogar zu Beschädigungen der Maschinen.

Entsprechend hoch sind das Potenzial und der Bedarf, die Informationsbereitstellung für die Instandhaltung zu verbessern. Gleichzeitig dürfen die Aufwände für die Erstellung der Informationen nicht steigen, sondern sollten nach Möglichkeit reduziert werden.

Animierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen auf mobilen Endgeräten, wie z. B. Tablet-Computern oder Datenbrillen, sog. digitale Assistenzsysteme, können Instandhaltungsarbeiten interaktiv und nutzergerecht darstellen: Hinweise und Zusatzinformationen werden für den ausgewählten Arbeitsschritt angezeigt oder mithilfe von Augmented Reality (AR) direkt in das Kamerabild des mobilen Endgerätes eingeblendet. Derartige Animationen stellen die durchzuführenden Arbeitsschritte anschaulich dar und ersetzen aufwändige Zeichnungen und Textbeschreibungen. Das digitale Format ermöglicht es, Informationen am Einsatzort bereitzustellen, ohne dafür die Papierunterlagen ausdrucken und mitnehmen zu müssen [Dini15, S. 14]. Auch die Technischen Redakteure profitieren von der digitalen Informationsbereitstellung, weil aufwändige technische Illustrationen und umfangreiche Textbeschreibungen nicht mehr angelegt werden müssen. Stattdessen greift die Technische Redaktion auf die 3D-Modelle aus der Konstruktion zurück und erstellt daraus direkt digitale Instandhaltungsanleitungen.

1.1 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, ein Konzept für ein durchgängiges System zu entwickeln, das sowohl die Prozesse der Informationserstellung als auch die anschließende Maßnahmenumsetzung von Instandhaltungs- bzw. Wartungs- und Reparaturarbeiten im Technischen Service digital unterstützt. Softwaredemonstratoren sollen die Einsatztauglichkeit und die Produktivität des Konzeptes in der Praxis aufzeigen und überprüfen. Um das Ziel zu erreichen, verfolgt die Arbeit drei Teilziele:

Identifikation von Prozessaufwänden

Die angestrebte Anwendung soll die Mitarbeiter bei der Aufgabendurchführung unterstützen und insbesondere Suchaufwände vermeiden. Die Aufnahme und Analyse der aktuellen Arbeitsprozesse und Umstände während der Instandhaltung und in der Technischen Redaktion bilden die Grundlage, um Verbesserungsbedarfe zu erheben und Einsatzszenarien für das Lösungskonzept zu entwerfen.

Durchgängiges System zur Prozessunterstützung

Das digitale Instandhaltungsassistenzsystem soll die bestehende Papierdokumentation ersetzen, sodass Instandhalter Informationen nicht mehr aus Papieranleitungen und Datenblättern herausuchen müssen. Stattdessen visualisieren animierte 3D-Produktmodelle die Instandhaltungsvorgänge und vermeiden lange Textbeschreibungen. Technische Redakteure sollten die animierten Anleitungen mit einem möglichst geringen Aufwand und einem möglichst natürlichen Arbeitsablauf erzeugen können. Die hierfür erforderliche Funktionalität soll entwickelt und in ein durchgängiges System zur Informationserstellung, -visualisierung und -verwaltung integriert werden. Das Ziel ist es, die Zeit zu reduzieren, die Technische Redakteure benötigen, um die Anleitungen zu erstellen, und gleichzeitig die Handhabung der Anleitungen während der Instandhaltung zu verbessern. Das spart Zeit ein, weil die Instandhalter nicht mehr nach Informationen suchen müssen. Gleichzeitig entstehen weniger Fehler während der Ausführung, weil das Assistenzsystem Informationen für jeden Arbeitsschritt vollständig und anschaulich darstellt.

Bewertung der Praxistauglichkeit

Entscheidend für den Erfolg der entwickelten Lösung im praktischen Einsatz ist die Produktivität. Das entwickelte System muss die Mitarbeiter befähigen, die Aufgaben besser durchführen zu können als mit der herkömmlichen Arbeitsweise. Gleichzeitig muss das entwickelte System eine benutzerfreundliche Bedienung ermöglichen, sodass die Akzeptanz durch die Endanwender sichergestellt wird. Ein direkter Vergleich des entwickelten Systems und der konventionellen Vorgehensweise gibt Aufschluss über die Produktivität und die Nutzerfreundlichkeit. Diese gilt es in repräsentativen Testversuchen zu erfassen und zu evaluieren. Die Implementierung von Softwareprototypen bildet die Basis für die Untersuchungen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist angelehnt an den allgemeinen Problemlösungszyklus des System Engineerings [Habe12, S. 74] und gliedert sich in fünf Kapitel. Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Gliederung und die Einordnung in den Problemlösungszyklus.

| | |
|--------------|---|
| Zielsuche | Kapitel 2: Grundlagen - Instandhaltung - Informationsmanagement - Neuartige Technologien und Potenziale |
| | Kapitel 3: Prozessanalyse und Anforderungen - Redaktionsprozess und –aufwände - Instandhaltungsprozesse und Informationsbedarfe - Fazit der Situationsanalyse und Anforderung an das Lösungskonzept |
| Lösungssuche | Kapitel 4: Informationsmodellierung und Systemaufbau - Informationsmodellierung - Systemaufbau - Technologie- und Hardwareauswahl |
| | Kapitel 5: Integriertes Instandhaltungsassistenzsystem - Verwaltung der Informationsinhalte - Erstellung der Informationsinhalte - Visualisierung der Informationsinhalte |
| Auswahl | Kapitel 6: Evaluation - Industrielle Anwendungsbeispiele - Produktivitätsuntersuchungen - Praxiseinsatz |

14227

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 gibt nach der Einleitung einen Überblick über den Stand der Technik und leitet das Forschungsdefizit ab.

Kapitel 3 greift das Forschungsdefizit auf und untersucht die direkten und indirekten Prozesse der Instandhaltung. Hieraus leitet es die Anforderungen an eine verbesserte Informationsbereitstellung ab.

Kapitel 4 erarbeitet ein Informationsmodell als Grundlage für den Systemaufbau des Instandhaltungsassistenzsystems. Inhaltlicher Schwerpunkt sind die erforderlichen Lösungskomponenten.

Kapitel 5 leitet für die Umsetzung der Systemlösung geeignete Benutzerschnittstellen her. Dafür werden Konzepte für die Informationserstellung, -visualisierung und -verwaltung ausgearbeitet. Diese umfassen jeweils einen Funktionsumfang für den produktiven Einsatz.

Kapitel 6 ist der Evaluation des Instandhaltungsassistenzsystems gewidmet und untersucht die Konzepte anhand der entstandenen Prototypen und der ausgewählten Anwendungsbeispiele für den realen Einsatz. Dafür werden Testversuche durchgeführt und Nutzer befragt. Ziel ist es, die Tauglichkeit der Konzepte im Praxiseinsatz zu überprüfen.

2 Stand der Technik

Das vorliegende Kapitel fasst den Stand der Technik zusammen. Dafür werden zunächst grundlegende Begriffe der Instandhaltung eingeführt (Abschnitt 2.1) und der Fokus auf die Informationsbereitstellung und die Technische Dokumentation ausgerichtet sowie Nachteile von Papieranleitungen erörtert (Abschnitt 2.2). Die Darstellung neuartiger Technologien und ihrer Potenziale (Abschnitt 2.3) sowie eine Ableitung des Forschungsdefizites schließen das Kapitel ab (Abschnitt 2.4).

2.1 Instandhaltung

Jedes Produkt durchläuft von der Planung bis zur abschließenden Entsorgung einen sog. Lebenszyklus. Dieser beginnt mit der Entscheidung, ein Produkt zu entwickeln bzw. mit der Investition in ein neues Produkt. Insbesondere bei Produkten mit einem sehr hohen Investitionsvolumen spricht man häufig auch von Investitionsgütern [Maas13, S. 1]. Hierbei handelt es sich um Produkte mit hohen Anschaffungs- und Betriebskosten sowie einer langen Lebensdauer [Hofm12, S. 1]. Sind diese aus vielen Baugruppen aufgebaut, bezeichnet man sie häufig als komplexe Investitionsgüter [Hofm12, S. 10 f.]. Zu den klassischen Branchen zählen bspw. die Luftfahrt- und Schiffbauindustrie. Ein weiteres Merkmal komplexer Investitionsgüter ist die lange Lebens- bzw. Nutzungsdauer [Hofm12, S. V]. Abbildung 2 zeigt das Verhältnis zwischen der Entwicklungs- und Nutzungszeit in verschiedenen Branchen.

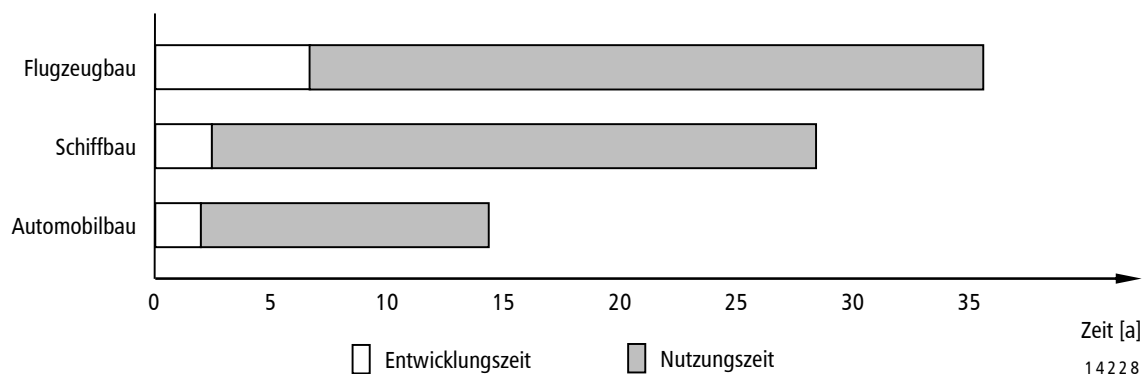


Abbildung 2: Branchenvergleich zwischen Entwicklungs- und Nutzungszeit ohne die Mobilfunkbranche in Anlehnung an [Sche10, S. 12]

Die Nutzungszeit ist durch den Betrieb der Investitionsgüter gekennzeichnet. Ein ungestörter Betrieb wirkt sich unmittelbar auf den wirtschaftlichen Erfolg des Unternehmens aus. Für das Beispiel der Schifffahrtindustrie, welche im Fokus der vorliegenden Arbeit steht, gilt es daher im Wesentlichen, ungeplante Liegezeiten aufgrund von Anlagen- und Maschinenstörungen zu vermeiden. Dies ist eine Voraussetzung dafür, die vertraglich vereinbarten Transportdienstleistungen und Termine zu erfüllen bzw. einzuhalten, ohne Vertragsstrafen zu riskieren.

Die Instandhaltung systemrelevanter technischer Komponenten, wie bspw. Antriebsmotoren oder Peripherieanlagen, bildet dafür die entscheidende Voraussetzung. Wegen der hohen Produktkomplexität und der vergleichsweise hohen Maschinenanzahl an Bord erfordert die Instandhaltung häufig die Beteiligung mehrerer Unternehmen.

2.1.1 Maßnahmen

Die Deutsche Norm 31051 definiert die Instandhaltung als die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Objekts, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung ihres funktionsfähigen Zustands dient, sodass es die geforderte Funktion erfüllen kann“ [DIN 31051, S. 4].

Abbildung 3 zeigt ergänzend zu der Definition die Unterteilung der Instandhaltung in ihre Grundmaßnahmen. Die Maßnahmen werden im Folgenden in Anlehnung an die Deutsche Norm zusammenfassend ausgeführt [DIN 31051, S. 5 f.].

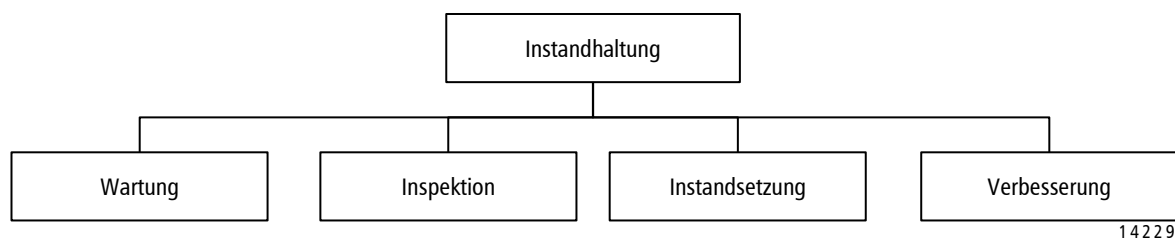


Abbildung 3: Grundmaßnahmen der Instandhaltung nach [DIN 31051, S. 4]

Wartung

Zur Wartung zählen alle Maßnahmen, um den Abbau des vorhandenen Abnutzungsvorrats zu verzögern und den vorgesehenen Soll-Zustand zu erhalten. Dazu gehören Tätigkeiten wie z. B. das Schmieren oder der Austausch von Komponenten. Insbesondere der Austausch von Komponenten beinhaltet bei großen und komplexen Produkten bzw. Maschinen und Anlagen umfangreiche Demontagetätigkeiten, um die betroffenen Komponenten freizulegen.

Inspektion

Die Inspektion beinhaltet alle Maßnahmen, um den Ist-Zustand einer Einheit zu erfassen und zu beurteilen. Hierzu gehört es auch, Ursachen für die Abnutzung zu bestimmen und die Konsequenzen für eine künftige Nutzung abzuleiten.

Instandsetzung

Die Instandsetzung umfasst alle Maßnahmen, um den funktionsfähigen Zustands einer Einheit wiederherzustellen, z. B. nach einem Ausfall oder einer Störung. Dazu zählen Tätigkeiten wie der Austausch von Ersatzteilen oder die Behebung von Störungen. Häufig wird der Begriff Instandsetzung synonym zu dem Begriff Reparatur verwendet.

Verbesserung

Die Verbesserung zielt darauf ab, die Funktion einer Einheit zu optimieren, ohne ihre ursprüngliche Funktion zu ändern. Hierzu zählen z. B. Maßnahmen wie die Ausrüstung von Entschwefelungsanlagen auf Kreuzfahrtschiffen.

Um die Instandhaltungsmaßnahmen zielgerichtet umsetzen zu können, ist eine Instandhaltungsstrategie erforderlich.

2.1.2 Strategien

Die Europäische Norm 13306 beschreibt Instandhaltungsstrategien als Vorgehensweise zur Erreichung der Instandhaltungsziele. Die Ziele umfassen neben der technischen Verfügbarkeit die Kostenreduzierung, die Produktqualität, den Umweltschutz, die Sicherheit, die Brauchbarkeitsdauer sowie die Anlagenwerterhaltung [DIN EN 13306, S. 9.].

Der Verein Deutscher Ingenieure ergänzt die Europäische Norm und führt aus, dass die Instandhaltungsstrategie angibt, welche Instandhaltungsmaßnahmen an welchen Instandhaltungsobjekten zu welchen Zeitpunkten durchzuführen sind. Insgesamt werden drei Grundstrategien der Instandhaltung unterschieden (Abbildung 4) [VDI 2895, S.25 f.].

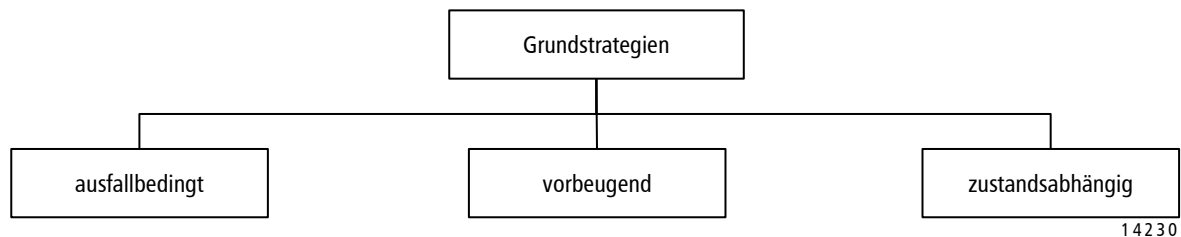


Abbildung 4: Grundstrategien der Instandhaltung nach [VDI 2895, S. 25 f.]

Demnach entscheidet der Ausführungszeitpunkt der Maßnahmen über die Ausprägung der Strategie.

Die ausfallbedingte Instandhaltungsstrategie kommt nur bei Komponenten infrage, die nicht systemrelevant und deren Instandsetzung infolge von Unterbrechungen ohne besondere Aufwände, wie bspw. zeitaufwändige Ersatzteilbeschaffung, erfolgen kann. Die vorbeugende Instandhaltungsstrategie wird bei Komponenten verfolgt, deren Ausfall erhebliche Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb oder die Personengefährdung hat. Vorbeugende Maßnahmen sind, hinsichtlich erforderlicher Kapazitäten und Materialien, mit einem entsprechenden Vorlauf gut planbar. Die zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie wird für Komponenten verfolgt, deren Verschleißwerte Aussagen über vorzunehmende Maßnahmen erlauben. Die Zustände können mit Sensoren oder mit vorgelagerten Inspektionen erfasst werden.

Zusammenfassend dient die Instandhaltung dazu, die Funktionsfähigkeit komplexer Investitionsgüter sicherzustellen. Mit ihren Maßnahmen und Strategien bildet sie die Voraussetzung für einen wirtschaftlichen und sicheren Einsatz. Sowohl in der Literatur als auch in der Praxis werden die beiden Begriffe Maßnahme und Strategie teilweise synonym verwendet. Auch die Übergänge zwischen den einzelnen Maßnahmen (siehe dazu Abschnitt 2.1.1) verschwimmen häufig und die Unterschiede lassen sich erst aus den Beschreibungen der Wartungspläne und Anleitungen erkennen.

Die operative Instandhaltung erfolgt durch den Betreiber oder durch extern beauftragte Dienstleister, wie z. B. Serviceabteilungen der Herstellerfirma.

Entscheidend für den Erfolg der Instandhaltung sind die Ausbildung und Erfahrungswerte des zuständigen Personals [Maty16, S. 157] und die Bereitstellung der relevanten Informationen für den korrekten Umgang mit den Anlagen [Stru12, S. 24], insbesondere bei hoher Produktkomplexität [Pfei96, S. 2].

Für ein besseres Verständnis grenzt der nachfolgende Abschnitt den Informationsbegriff von weiteren Begrifflichkeiten ab, die häufig synonym verwendet werden, und beschreibt die Informationsbereitstellung in der Instandhaltung.

2.2 Informationsmanagement

Das Informationsmanagement dient dazu, die Ressource Information, im Hinblick auf die Unternehmensziele, bestmöglich einzusetzen [Krcm15, S. 10]. Das Wissen über die komplexen Anlagen sowie ein kompetentes Serviceangebot entscheiden zukünftig über die Wettbewerbsfähigkeit von Produktherstellern und Dienstleistern. Um ein besseres Verständnis für das Informationsmanagement zu schaffen, wird im Folgenden der Informationsbegriff eingeordnet und mit dem Management verknüpft.

2.2.1 Begriffseinordnung

Im täglichen Sprachgebrauch werden Begriffe wie Daten, Informationen oder auch Wissen häufig synonym verwendet. In der Literatur existiert jedoch eine klare Abgrenzung. Abbildung 5 zeigt mithilfe der Wissenstreppe in Anlehnung an North die Unterscheidung der Begrifflichkeiten.

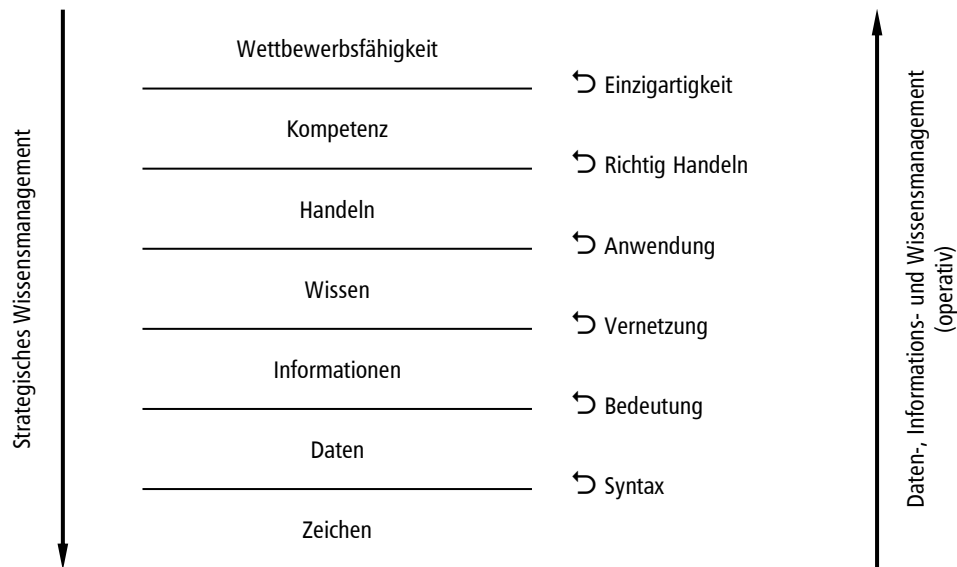


Abbildung 5: Wissenstreppe in Anlehnung an [Nort16, S. 36]

Auf der ersten Stufe stehen die Zeichen. Diese bilden die Grundlage für die nachfolgenden Stufen bzw. Begriffe. Aus der Verknüpfung von Zeichen, unter Berücksichtigung von bestimmten Ordnungsregeln (Syntax), entstehen Daten. Bei Daten handelt es sich um Symbole wie z. B. Zahlen, die noch nicht interpretiert sind. Erhalten Daten einen Bezug bzw. eine Bedeutung, ergeben sich daraus Informationen.

Die Vernetzung von Informationen schafft Wissen. Demzufolge bilden Informationen die Grundlage, um Wissen zu kommunizieren und zu speichern. Eine Wissensdatenbank in diesem Sinne gibt es nicht. Stattdessen existieren Datenbanken, in denen Wissens-Teilbereiche als Informationen abgelegt werden [Nort16, S. 37].

Die Wissensanwendung und -umsetzung führt zum entsprechenden Handeln. Über die Performanz (einer Person, Gruppe oder Organisation) liefert das Handeln messbare Ergebnisse, wie aus Informationen Wissen entsteht und dieses Wissen für die Problemlösung angewendet wird [Nort16, S. 38].

Eine besonders hohe Performanz wird als Kompetenz bezeichnet. Diese Fähigkeit resultiert aus der richtigen Handlung bzw. aus der richtigen Wissensanwendung. Unternehmen, die über besondere Kompetenzen (sogenannte Kernkompetenzen) verfügen, verschaffen sich Vorsprünge gegenüber ihren Mitbewerbern und sind damit wettbewerbsfähiger [Krüg97, S. 25 f.].

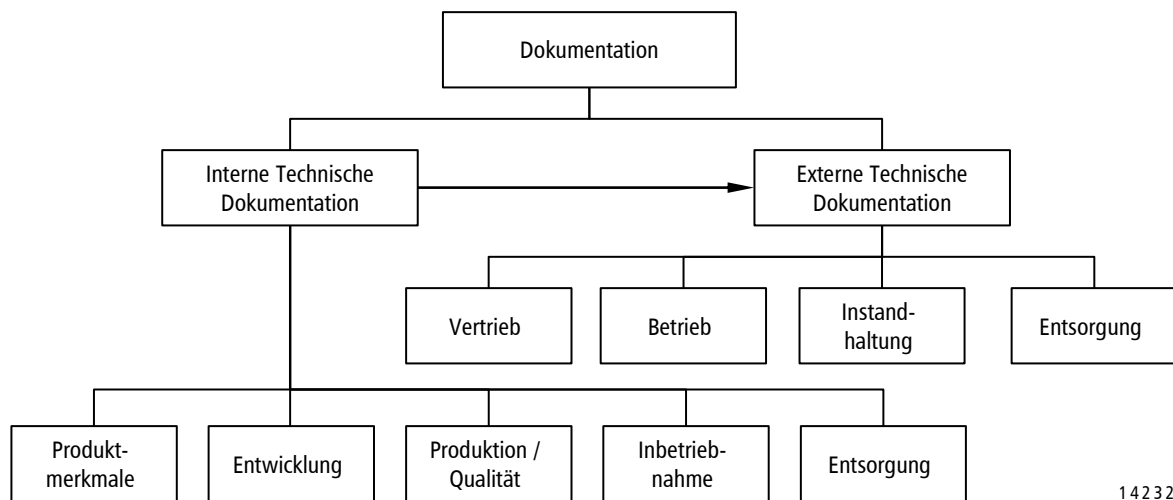
Für eine hohe Wettbewerbsfähigkeit und wissensorientierte Unternehmensführung definiert North [Nort16, S. 39] drei Handlungsfelder:

- strategisches Wissensmanagement
- operatives Wissensmanagement
- Informations- und Datenmanagement

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich zunächst auf das Informationsmanagement bzw. die Bereitstellung von Informationen. Die digitale Verknüpfung von Informationen schafft ein besseres Wissen und führt zum richtigen Handeln.

2.2.2 Technische Dokumentation

Die Technische Dokumentation umfasst alle Informationen bzw. Dokumente, die in ihrer Gesamtheit das Produkt und den damit verbundenen Umgang beschreiben. Grundsätzlich ist zwischen der internen und der externen Dokumentation zu unterscheiden. Abbildung 6 zeigt die Abgrenzung zwischen den zwei Arten der Dokumentation in Anlehnung an den Verein Deutscher Ingenieure.



14232

Abbildung 6: Überblick über die Unternehmensdokumentation [VDI 4500, S. 6].

Die interne Dokumentation umfasst alle Zeichnungen und Beschreibungen zu einem Produkt, die im Unternehmen bzw. beim Hersteller verbleiben und in den frühen Produktlebensphasen entstehen. Dazu gehören z. B. Pflichtenhefte, in denen die Produktmerkmale festgehalten sind, Stücklisten und Zeichnungen aus der Entwicklung und Konstruktion, Arbeitspläne aus der Produktion sowie Prüfberichte aus der Qualitätskontrolle. Weiterhin umfasst die interne Dokumentation Protokolle und Berichte aus der Inbetriebnahme zur Sicherung der nutzergerechten Anwendung sowie Vorgaben für eine umweltgerechte Entsorgung.

Während die interne Dokumentation den Wissens- bzw. Informationstransfer im Unternehmen absichert und bei den betrieblichen Produktionsprozessen unterstützt, ist die externe Dokumentation auf die Kommunikation nach außen ausgerichtet. Sie enthält Produkteigenschaften und Leistungsdaten für den Vertrieb, Vorschriften für den Betrieb und die Entsorgung sowie alle relevanten Anweisungen für die korrekte Produktnutzung. Damit bildet die externe Dokumentation die informative Grundlage für die späteren Produktlebensphasen. Ihre Anfertigung erfolgt auf Basis der internen Dokumentation [Schl13, S. 583]. Abbildung 7 skizziert den Erstellungsprozess entlang der Produktlebensphasen in Anlehnung an den Verein Deutscher Ingenieure.

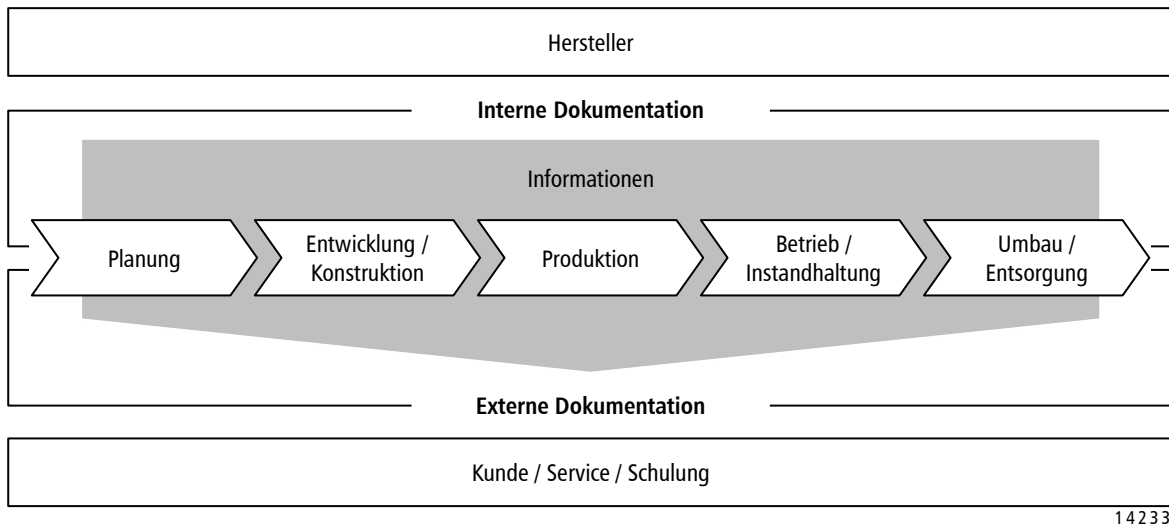


Abbildung 7: Technische Dokumentation entlang des Produktlebenszyklus
in Anlehnung an [VDI 4500, S. 14 ff.]

Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit liegt auf der externen Technischen Dokumentation und den darin enthaltenen Instandhaltungsanleitungen. Schwerpunkt ist die Demontage und Montage, die insbesondere bei komplexen Produkten einen großen Teil der Anleitungen ausmachen. Je nach Branche werden die Anleitungen auch als Betriebshandbücher oder Bedienungsanweisungen bezeichnet [Koth11, S. 3].

Aus Haftungsgründen ist der Hersteller gesetzlich verpflichtet, dem Kunden eine Dokumentation mitauszuliefern, damit alle vorgesehenen Betriebs- und Instandhaltungsmaßnahmen ordnungsgemäß durchgeführt werden können, sodass ein funktionsfähiger und sicherer Zustand des Produktes gewährleistet werden kann [Sch13, S. 38]. Dafür liegen der Dokumentation verschiedene Unterlagen bei, wie z. B. Ersatzteilkataloge, Datenblätter und Anleitungen zur Vermittlung der auszuführenden Handlungen.

Ergänzend zu der korrekten Anleitung der Produktkunden bzw. Betreiber der Anlagen greifen auch langjährige Servicetechniker auf die Dokumente zurück, weil sie die Funktionsweise neuer Komponenten und Baugruppen im Zuge der zunehmenden Produktkomplexität und -vielfalt erneut erlernen müssen. Auch die technischen Ausbildungszentren sind gefordert, das Schulungspersonal gezielt zu trainieren und auszubilden, um eine hohe Qualität bei der späteren Umsetzung der Maßnahmen gewährleistet zu können. In diesem Bereich kommen die Anleitungen ebenfalls zum Einsatz und dienen als Schulungsmaterial. Die Gestaltung der Anleitungen und die daraus resultierende Wissens- und Informationsvermittlung sind für unterschiedliche Anwender entscheidend und in einer vorgelagerten Zielgruppenanalyse zu definieren [DIN EN 82079-1, S. 14].

Die Auslieferung und Bereitstellung der Anleitungen in Papierform ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt immer noch Stand der Technik [Kluß20, S. 387] und häufig mit beträchtlichen Aufwänden verbunden. Abbildung 8 zeigt zusammenfassend die charakteristischen Nachteile papiergebundener Anleitungen.

| Kunde / (End-)Anwender | Hersteller / Techn. Redakteur |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• umständliche Handhabung• mangelnde Aktualität | <ul style="list-style-type: none">• sehr hoher Erstellungsaufwand• großer Druckumfang |

14234

Abbildung 8: Charakteristische Nachteile der Papierdokumentation

Findet eine Aktualisierung der Dokumentation statt, sodass z. B. technische Werte nachträglich angepasst werden, müssen die gesamten Dokumente ausgetauscht und die Änderungen an alle Betroffenen kommuniziert werden [Ocke97, S. 277]. Teilweise werden solche Änderungen nur bedingt weitergegeben bzw. von den Zuständigen gemeldet. Nacharbeiten und zusätzliche De- oder Montageaufwände sind häufig die Folge.

Der Umfang der Papierdokumentation nimmt mit der Größe und Komplexität der Produkte zu. So umfasst bspw. die ausgedruckte Dokumentation eines Schiffsantriebsmotors eine Menge von Papierordnern, die auf bis zu sieben Paletten ausgeliefert werden müssen.

Auch der Aufwand für die Erstellung der Anleitungen nimmt mit der Größe und Komplexität des Produktes zu. Bei großen Antriebsmotoren von Schiffen kann die Technische Dokumentation einen Umfang bis zu hundert einzelner Anleitungen einnehmen, wobei eine Anleitung bei der Produktkomplexität auf bis zu dreißig Seiten ausgeführt wird. In der Regel zeigen die Anleitungen auf jeder zweiten Seite eine technische Illustration. Die Erstellung einer Illustration kann, je nach Darstellungsgröße, mehrere Stunden in Anspruch nehmen [Oehm11, S. 64 ff.].

Die Erstellung der Technischen Dokumentation ist Aufgabe der Technischen Redaktion. Je nach Struktur und Aufbau verfügen Unternehmen über eine zentrale Technische Redaktion oder über mehrere dezentrale Technische Redaktionen, die Unternehmensbereichen oder -abteilungen zugeordnet sind. Weil die Bereitstellung der Technischen Dokumentation, auch in Fremdsprachen, ein notwendiger Bestandteil der Leistung des Herstellers ist, müssen dafür anfallende Aufwände und Kosten vom Unternehmen getragen werden [Koth11, S. 277]. Um den Nachteilen von klassischen Papieranleitungen mit Texten und Zeichnungen entgegenzuwirken, verweist Koth auf die Vorteile neuartiger Dokumentationsformen, wie bspw. Utility Filme [Koth11, S. 278] (siehe dazu Abschnitt 2.3).

2.3 Neuartige Technologien und Potenziale

Der digitale Wandel fordert sowohl Produkthersteller als auch Ausrüster im internationalen Wettbewerb. Einen entscheidenden Faktor bilden, neben einer hohen Produktqualität, neue Servicedienstleistungen [Sche10, S. 10]. Die Digitalisierung von Dienstleistungen in Verbindung mit neuen und verbesserten Formen der Informations- und Kommunikationstechnologien kann die Prozessqualität verbessern und dazu beitragen, die Kundenbindung und -beziehung zu stärken. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über neuartige Formen der Informationsbereitstellung und zeigt ihre Potenziale auf.

2.3.1 Multimodale Anleitungen

Ausgedruckte Anleitungen werden, in Absprache mit dem Kunden, zunehmend durch eine digitale Version ergänzt. Dabei handelt es sich im Regelfall um die zugrundeliegenden PDF-Dateien, die über ein entsprechendes Programm auf einem Laptop oder einem ähnlichen Endgerät geöffnet werden können. Das elektronische Format verschafft sowohl dem Hersteller als auch dem Kunden Vorteile [Juhl15, S. 348]:

- Die Anleitungen können in einer beliebigen Anzahl und ohne zusätzliche Druck- und Transportkosten bereitgestellt werden, auch im Zuge einer Dokumentenaktualisierung.
- Die Anleitungen können zentral von einem Server heruntergeladen und ggf. für einen Offline-Zugriff lokal abgespeichert werden. Auch das Suchen innerhalb der Anleitung kann, durch eine Wortsuche oder eingebaute Verlinkungen im Dokument, vereinfacht werden.

Trotz dieser Vorteile ist das elektronische Dokument primär ausgelegt für das Papierformat und immer noch geprägt von statischen Elementen wie Handlungsbeschreibungen und Zeichnungen. Um die Digitalisierung der Technischen Dokumentation zu erweitern, stellen vereinzelt Unternehmen ihren Kunden ergänzend zu den PDF-Dokumenten verlinkte Videoclips, sogenannte Utility-Filme, bereit.

Bei einem Utility-Film handelt es sich um eine unternehmensgeprägte Bezeichnung für einen Anleitungsfilm, der aus einzelnen, miteinander verlinkten Videoclips besteht [Löff08, S. 1 ff.] und vom Anwender gesteuert werden kann, ähnlich wie ein Hypervideo [Zahn03, S. 14 ff.].

Abbildung 9 zeigt die Strukturmerkmale eines Utility-Films in Anlehnung an Schmolz.

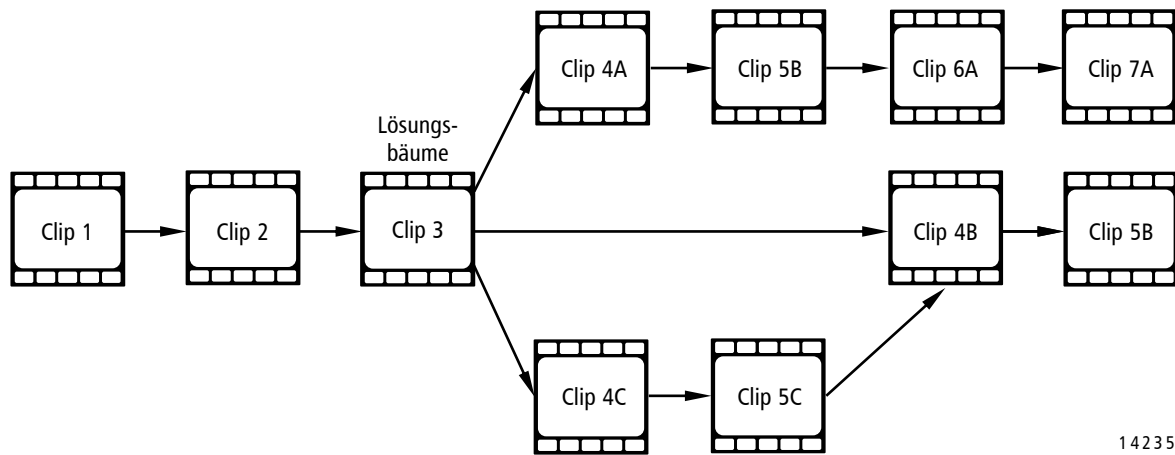


Abbildung 9: Strukturmerkmale eines Utility-Films in Anlehnung an [Schm10, S. 73].

Die Funktionsweise und die Vorzüge dieser Kurzfilme beschreibt Löffelholz in [Löff08, S. 3 ff.] wie folgt:

Jeder Videoclip ergibt eine abgeschlossene Handlung (auch Handlungsclip genannt). Die Zusammenführung der Handlungsclips resultiert in einer Schritt-für-Schritt-Anleitung, die den Anwender sprach- und textfrei durch die Aufgabe führt. Daraus lassen sich entscheidende Vorteile ableiten:

- Der Anwender kann zu jedem Zeitpunkt einen Handlungsclip erneut abspielen. Das ermöglicht ein besseres Verständnis für die Aufgaben, auch bei komplexen Handlungen.
- Aufgrund der nahezu sprach- und textfreien Clips müssen die Inhalte nur zu einem geringeren Grad übersetzt werden. Auch die Kosten für das Lektorat können infolge der textarmen Anleitungen eingespart werden.
- Die Filme dienen auch als Recherchegrundlage für die Technische Redaktion, weil einzelne Prozesse sehr genau abgebildet und dokumentiert werden können.

Für die Gestaltung der Videoclips beschreibt Löffelholz ein Vorgehen nach dem Key-Action-Information-Modell (KAI-Modell).

Abbildung 10 zeigt das Modellvorgehen am Beispiel einer Montageaufgabe.

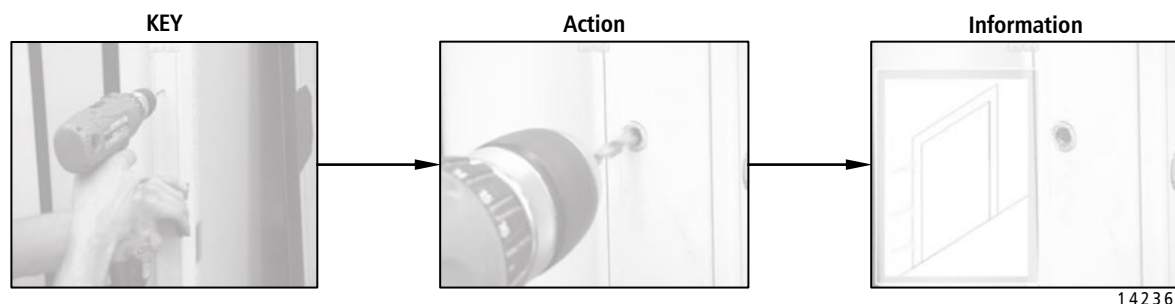


Abbildung 10: Key-Action-Information-Modell nach [Löff08, S. 3]

Das sog. Schlüsselbild (Key) gibt einen Überblick über die folgende Handlung. Bei komplexen Handlungen zeigt das Schlüsselbild bereits das Ziel mittels grafischer Elemente zur Motivation. Das zweite Bild veranschaulicht die Ausführung der Handlung (Action). Das Endbild (Information) visualisiert den gewünschten Endzustand der Handlung und ergänzt bei Bedarf relevante Zusatzangaben, wie z. B. Sollwerte für Messvorgänge.

Die Erweiterung der interaktiven Videosequenzen um weitere dynamische Elemente, wie z. B. Audioaufnahmen oder Animationen, ergibt eine multimodale Visualisierungsform und schafft ein erweitertes Nutzererlebnis im Vergleich zu herkömmlichen statischen Medien. Für die Erstellung der interaktiven Videoaufnahmen beauftragen die Unternehmen i. d. R. spezialisierte Anbieter oder Agenturen. Die Ausarbeitung der dafür notwendigen Skripte und Drehbücher erfolgt jedoch meist in der eigenen Redaktion. Diese Arbeitsteilung erfordert viel Abstimmung und führt bei unvollständiger Kommunikation häufig zu kostenintensiven Nacharbeiten. Gleichzeitig erweist sich die Aufnahme von Videos an großen und komplexen Produkten häufig als schwierig, weil diese noch die Fertigung durchlaufen oder bereits ausgeliefert sind.

Um die technischen Herausforderungen der Videoaufnahmen zur Bereitstellung von Instandhaltungsinformationen zu umgehen, bieten sich 3D- und CAD-orientierte Ansätze und virtuelle Technologien an.

2.3.2 Virtuelle Technologien

Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR), zusammenfassend virtuelle Technologien, bieten die Möglichkeit, Informationen virtuell bereitzustellen. Dies erfolgt nach unterschiedlichen Ansätzen und mithilfe verschiedener Hardwaresysteme.

Bei einer AR-Anwendung wird über eine Kamera die reale Umgebung erfasst und auf einem Display mit virtuellen Elementen in Echtzeit interaktiv kombiniert [Azum97, S. 356]. Das sog. Tracking übernimmt die positionskorrekte Ausrichtung der virtuellen Inhalte in der realen Umgebung. Eine Grafikkarte dient zur Berechnung der AR-Szene. Die abschließende Wiedergabe der Inhalte erfolgt auf einem Anzeigegerät. Dafür kommen unterschiedliche Hardwareklassen zum Einsatz [Bimb06, S. 2]. Mobile (am Kopf befestigte oder handgeführte) Anzeigesysteme können vom Anwender ortsunabhängig für den Informationsabruf eingesetzt werden. Dazu zählen bspw. Datenbrillen, Smartphones oder Tablet-PCs.

Die Abgrenzung von AR zu VR ist fließend und als ein kontinuierlicher Übergang zu verstehen [Milg94, S. 283]. Während ein AR-System die reale Umgebung um virtuelle Elemente erweitert und dem Benutzer das kombinierte Ergebnis anzeigt, visualisiert ein VR-System dem Benutzer ausschließlich virtuelle Elemente. Folgt man der Definition von Slater und Wilbur, spricht man bei einem VR-System von einer höheren Immersion, weil der Anwender weitestgehend von der realen Umgebung isoliert ist und nur die computer-generierten Inhalte wahrnimmt [Slat97, S. 605 ff.].

Abbildung 11 illustriert die Abgrenzung zwischen den beiden Technologien.

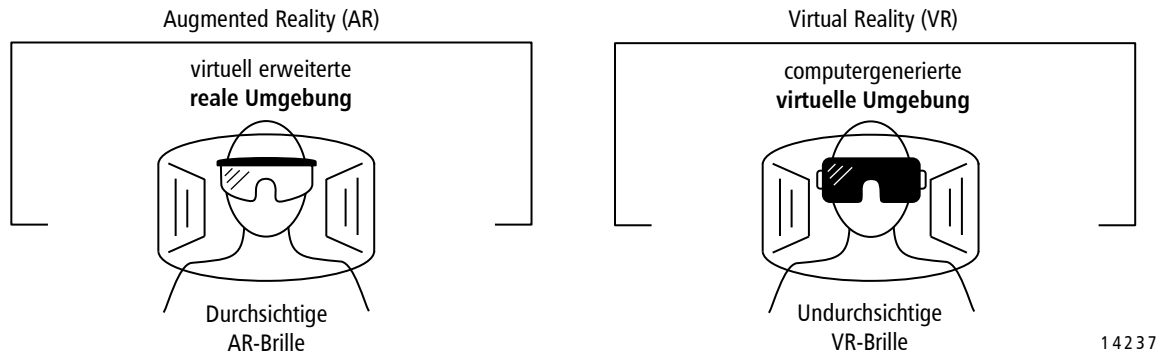


Abbildung 11: Abgrenzung der Technologien Augmented Reality und Virtual Reality

Beide Technologien, Augmented und Virtual Reality, bringen für den praktischen Einsatz charakteristische Nutzeffekte.

Abbildung 12 stellt die Nutzeffekte virtueller Technologien zusammenfassend dar.

| Augmented Reality | Virtual Reality |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung des Informationszugriffs • Steigerung des Informationsumfangs • Erhöhung der Anschaulichkeit am realen Objekt | <ul style="list-style-type: none"> • Steigerung der Immersion • Erweiterung der 3D-Objekt-Interaktion • Erhöhung der Anschaulichkeit am virtuellen Objekt |

14238

Abbildung 12: Charakteristische Nutzeffekte virtueller Technologien

Nach Mehler-Bicher und Steiger [Mehl14, S. 21] besteht ein wesentlicher Nutzen der AR-Technologie darin, die Zeit für die Informationsbeschaffung zu minimieren. Als Zielgröße definieren sie die Kennzahl *Time-to-Content*. Diese beschreibt die Zeitdauer, die ein Anwender benötigt, bis ihm die relevante Information zur Verfügung steht. Über die interaktive Bedienung der Technologie kann der Anwender Einfluss auf die Informationsdarstellung nehmen, diese kontrollieren und nach seinen Bedürfnissen visualisieren.

Die Multimodalität der AR-Technologie erlaubt es, unterschiedliche Informationsinhalte abzurufen. Dazu zählen bspw. 2D-Zeichnungen oder 3D-Modelle, Video- und Audiosequenzen sowie Texte und Zusatzinformationen. Im Unterschied zu multimodalen Dokumenten verknüpft AR die verschiedenen Informationsinhalte mit der realen Umgebung und der aktuellen Position des Anwenders. Die interaktive Auswahl von Inhalten und der geometrische Bezug erlauben es, auch einen hohen Informationsumfang für den Anwender übersichtlich aufzubereiten.

Die kontextsensitive Verknüpfung der realen Objekte mit Informationen steigert die Anschaulichkeit des gesamten Informationsumfangs und vermeidet das Suchen nach Informationen [Frie04, S. 45 f.]. Der Anwender ist nicht mehr gefordert, verteilte Informationen in einen logischen Zusammenhang bringen zu müssen. Das erlaubt es, auch komplexe Aufgaben und Tätigkeiten anschaulich darzustellen [Ludw05, S. 9 f.].

Der Nutzen von VR lässt sich am besten mit der 3D-Computergrafik vergleichen [Jung19, S. 80]. Im Gegensatz zu dieser verfügt VR über eine gesteigerte Immersion. Nach Slater und Wilbur ergibt sich der Immersionsgrad anhand der folgenden vier technischen Merkmale [Slat97, S. 605]: Abschirmung des VR-Teilnehmers von der äußeren Umgebung; Bandbreite der angesprochenen Sinneseindrücke des Teilnehmers; Sichtfeldgröße des Anwenders auf die virtuelle Umgebung, Auflösung und Wiedergabequalität. Mit zunehmender Ausprägung der Merkmale steigen auch die Anschaulichkeit und die Interaktion mit den 3D-Objekten.

Gegenüber klassischen Bediengeräten, wie bspw. Maus und Tastatur, bieten die 3D-Interaktionsmöglichkeiten einen vielversprechenden Ansatz zur Interaktion mit 3D-Objekten [Bowm12, S. 78 ff.]. Die VR-Szene erlaubt es, Teile ähnlich wie in einer realen Situation zu greifen und zu verschieben. Die Bedienung erfolgt je nach Hardware, z. B. mit Controllern oder speziellen (Tracking-)Handschuhen.

Die hohe Immersion und die erweiterten Interaktionsmöglichkeiten steigern auch die Anschaulichkeit der Umgebungsmodelle. Der VR-Teilnehmer hat die Möglichkeit, durch die Umgebung zu navigieren und die Modelle aus unterschiedlichen Positionen und Richtungen anzuschauen. Der Blickrichtungswechsel erfolgt mit einer gewöhnlichen Kopfbewegung und erfordert keine zusätzliche Bedienung.

Die aufgezählten Vorteile der AR- und VR-Technologien bieten vielfältige Möglichkeiten zur Unterstützung der Industrieprozesse in unterschiedlichen Bereichen.

2.3.3 Industrietransfer

Während sich viele kommerzielle AR- und VR-Anwendungen auf die Spiele- und Unterhaltungsindustrie konzentrieren, rücken virtuelle Technologien und digitale Assistenzsysteme auch zunehmend in den industriellen und wissenschaftlichen Fokus. Die Einsatzszenarien sind breit aufgestellt und umfassen nahezu den gesamten Produktlebenszyklus. Um dem Fokus der vorliegenden Arbeit gerecht zu werden, werden im Folgenden digitale Assistenzsysteme innerhalb der Instandhaltung und den naheliegenden Bereichen vorgestellt.

Digitale Assistenzsysteme

Unter digitalen Assistenzsystemen versteht man interaktive Informations- und Kommunikationstechnologien, die Mitarbeiter bei ihren Arbeitsaufgaben unterstützen [Mewe20, S. 10]. Digitale Assistenzsysteme können in unterschiedlichen Bereichen der betrieblichen Praxis und für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden. Zur Klassifizierung der Unterstützungsformen unterscheiden Mewes et al. vier charakteristische Merkmale (vgl. Abbildung 13). Hierbei handelt es sich um eine Erweiterung der charakteristischen Merkmale nach Apt et al. [Apt18, S. 19].

Digitale Assistenzsysteme in der betrieblichen Praxis

- Art (Physisch; Sensorisch; Kognitiv)
- Zielsetzung (Kompensatorisch; Erhaltend; Erweiternd)
- Grad (Niedrig; Mittel; Hoch; Variabel)
- Ort (Stationär; Mobil; Wearables)

14239

Abbildung 13: Klassifikation der Unterstützungsformen digitaler Assistenzsysteme in Anlehnung an [Mewe20, S. 10]

Während der Grad den Umfang der Unterstützungsmöglichkeiten einordnet, gibt die Art des Assistenzsystems an, auf welche Weise der Mitarbeiter unterstützt wird. Die Zielsetzung beschreibt, auf welche Weise die Fähigkeiten des Arbeiters während der Aufgabe unterstützt werden. Der Ort beschreibt abschließend, ob das Assistenzsystem am Arbeitsplatz stationär aufgebaut ist, mobil vom Mitarbeiter zum Einsatzort mitgenommen (z. B. Tablet-PC) oder als Wearable (z.B. Datenbrille) getragen werden kann.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf mobile und kognitive Assistenzsysteme. Diese erweitern mithilfe ihrer Funktionalität die Informationsbereitstellung und Dokumentation für die Mitarbeiter und unterstützen sie erheblich bei der Ausführung der Instandhaltungsarbeiten.

Fertigung und Montage

Halata entwickelt ein digitales Assistenzsystem, das Montageinformationen visualisiert, um Mitarbeiter in der schiffbaulichen Unikatproduktion sowie bei der Ausführung von Montagearbeiten zu unterstützen [vgl. Hala18, S. 55 ff.] (Abbildung 14).



14240

Abbildung 14: Digitales Assistenzsystem zur Visualisierung von Montageinformationen in der schiffbaulichen Unikatproduktion [Frie16, S. 145]

Das mobile Assistenzsystem führt den Anwender durch die Montageaufgabe und zeigt auf der Benutzeroberfläche des Tablet-PCs (rechts) die Reihenfolge der zu montierenden Bauteile innerhalb einer Aufgabenliste. Das System berechnet die Reihenfolge anhand vorher definierter Parameter. Der Werker sieht auf der Benutzeroberfläche des Tablet-PCs das 3D-Geometriemodell des einzubauenden Bauteils im Augmented-Reality-Modus oder in einem CAD-Modus. Der Anwender quittiert nach jedem fertiggestellten Montagevorgang den Arbeitsschritt und meldet den Arbeitsschritt so digital zurück. Der Zugriff auf die Daten, die für die jeweiligen Montageaufgaben notwendig sind, wird unter Berücksichtigung definierter Sicherheitsaspekte über einen zentralen Server gesteuert [Hala18, S. 116 ff.]. Die Überführung der Daten aus den ERP- und CAD-Systemen sowie deren Aufbereitung erfolgt durch die Arbeitsvorbereitung in den indirekten Bereichen [Hala18, S. 110 ff.]. Die Arbeitsvorbereitung stellt die Arbeitspakete zusammen und gibt diese für die Werker frei, auch automatisiert [Hala18, S. 118 f.].

Die situationsgerechte Einblendung der für einen Montageschritt relevanten Informationen vermeidet das aufwändige Heraussuchen der Informationen aus Technischen Zeichnungen und Stücklisten. Das Assistenzsystem trägt so dazu bei, die üblicherweise hohen Aufwände für die Beschaffung von Informationen in der schiffbauartigen Unikaterzeugung [Tiet17, S. 97] zu reduzieren.

Mit der Entwicklung des mobilen Assistenzsystems und der dazugehörigen Benutzeroberfläche sowie der Softwarewerkzeuge zur Informationsgenerierung und -visualisierung ermöglicht Halata deutliche Produktivitätsverbesserungen, wie umfangreiche Evaluierungen zeigen [Hala18, S. 126 ff.].

Weil sich ähnliche Aufgaben auch innerhalb der Instandhaltung wiederfinden, vermuten Halata und Friedewald in diesem Bereich ebenfalls Potenziale für den Einsatz digitaler Assistenzsysteme [Hala18, S. 146] [Frie16, S. 158]. Dies setzt jedoch die Anpassung und Erweiterung des Konzeptes voraus. Insbesondere muss ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem auch die Erstellung der Anleitung sowie die Erzeugung von Zusatzinformationen aus der Technischen Dokumentation vollständig berücksichtigen und anwendergerecht auf der Benutzeroberfläche anzeigen. Dafür müssen die entsprechenden Datenmodelle weiterentwickelt und angepasst werden.

Planung und Vertrieb

Heinig nutzt die Vorteile der AR- und VR-Technologie für die Montageplanung komplexer Baugruppen [Hein15, S. 123 ff.]. Ein Prototyp zeigt die Erstellung der Montagepläne in VR und die anschließende Visualisierung der animierten Einbaupfade mit AR. Der Fokus der Arbeit liegt auf dem VR-Ablaufprozess und der Anwenderunterstützung. Diese umfasst ein Filtermechanismus, eine Ablaufsteuerung, ein Planungsmodul, ein Bedienkonzept und eine AR-Schnittstelle für die Anzeige der Planungsergebnisse.

Zur anschaulichen Planung von Varianten beim Umbau großer Baugruppen, wie bspw. Entschwefelungsanlagen auf Schiffen, entwickelt Titov einen AR-Demonstrator [Tito16, S. 90 ff.]. Dieser vereinfacht die Kommunikation zwischen den Kunden und Auftragnehmern während der Planungsphase und zeigt die einzubauenden Großkomponenten mithilfe von AR direkt am Umbauort. Die Benutzeroberfläche erlaubt es, die Position und Ausrichtung der Geometrien zu ändern sowie zu speichern. Die abgespeicherten Konfigurationen dienen im Anschluss als Entscheidungsvorlage für den Kunden und zur Planung der Einbauprozesse in VR.

Auch das Unternehmen CAD Schorer präsentiert in seinem Produktportfolio AR- und VR-Anwendungen für die Montageplanung und Visualisierung von Einbaukomponenten [Schr20a][Schr20b]. Der Nutzer hat die Möglichkeit, sich mithilfe einer Tablet-App die einzubauenden Komponenten über die Tablet-Kamera in der realen Einbauumgebung virtuell und in Originalgröße einzublenden [Schr20c]. Die App unterstützt den Anwender so insbesondere bei der optischen Prüfung von Einbauproblemen, wie z. B. Kollisionen. Die Erstellung der anzuzeigenden virtuellen Objekte erfolgt auf Basis der zugrundeliegenden CAD-Modelle.

Schulung und Training

Über die Kundenpräsentation hinaus bieten virtuelle Technologien auch ein hohes Potenzial im Bereich der Schulung und des Trainings von Mitarbeitern und Auszubildenden. Das öffentlich geförderte Forschungsprojekt *GLASSROOM* (Kompetenzaufbau, -entwicklung und -definition in virtuellen Lebenswelten des Maschinen- und Anlagenbaus) präsentiert AR- und VR-Applikationen für die Aus- und Weiterbildung, u. a. auch im technischen Service.

In dem Projekt zeigt Schwantzer ein implementiertes Konzept zur Aufnahme, Verwaltung und Wiedergabe eines Assistenzprozesses, das *Smart Glasses* an ein Informationssystem für technische Dienstleistungen anbindet [Schw18, S. 94 ff.]. Mithilfe einer Sprachfunktion können die Arbeitsschritte durch Fachleute schnell aufgenommen (sog. Rapid-Authoring) und abgespielt werden. Zusätzliche Foto- und Videoaufnahmen unterstützen das Verständnis für die auszuführenden Arbeiten.

Eine VR-fähige Lernumgebung für technische Dienstleistungen präsentieren Bues et al. [Bues18, S. 113 ff.]. Mit einer VR-Brille kann der Anwender das Modell des Wartungsobjektes im Maßstab 1:1 aus unterschiedlichen Positionen betrachten, dieses greifen und bewegen. Dafür stehen ihm unterschiedliche Navigations- und Greifwerkzeuge zur Verfügung. Die Erstellung der Lerninhalte, wie bspw. die Beschreibung der Montagereihenfolge, erfolgt entweder in einer Excel-Tabelle oder mit der Beschreibungssprache *Business Process Model and Notation* (BPMN).

Jannaber et al. entwickeln ein Autorenwerkzeug, mit dem digitale Aus- und Weiterbildungsinhalte vor Ort erstellt werden können [Jann18, S. 126 ff.]. Die Umsetzung des Demonstrators erfolgt mit Smart Glasses am Beispiel eines Tankwechsels durch einen Serviceanbieter für Klima- und Heiztechnik.

Berkemeier et al. messen die Nutzerakzeptanz von *Smart Glasses* für die Aus- und Weiterbildung anhand von 105 Probanden aus dem Bereich der Landmaschinentechnik [Berk18, S. 148 ff.]. Die Ergebnisse der Umfrage zeigen eine positive Nutzerakzeptanz für ein Smart-Glasses-basiertes System zur beruflichen Qualifikation im technischen Kundendienst.

Einen Nachweis über die Praktikabilität und Akzeptanz von VR für die berufliche Bildung mit besonderem Fokus auf der Montage und Wartung komplexer Maschinen, auch durch Fachpersonal, liefern Schultze und Bues [Schu18, S. 163 ff.].

Die Anwendung *Machine@Hand* des Fraunhofer-Instituts für Graphische Datenverarbeitung bietet Werkern ebenfalls eine virtuelle Umgebung, um komplexe Montage- oder Wartungsaufgaben zu verstehen und auszuführen [Aehn20]. Die VR-Anwendung wird zudem dazu eingesetzt, um virtuelle Annotationen am 3D-Modell des Wartungsobjektes zu platzieren. Diese sollen die Ausführung der Arbeiten informativ unterstützen.

Instandhaltung und Service

Für die Erweiterung des Kundenservices hält das Unternehmen *oculavis* eine Remote-Support-Anwendung in Form einer Datenbrille bereit. Mithilfe einer Videotelefonie unterstützt der zentrale Experte den Kunden während der Ausführung von Maßnahmen. Der Einsatz weiterer Hardwareklassen, wie bspw. von Tablet-Computern oder Smartphones, ist ebenfalls möglich [Ocul20].

Der Motorhersteller *MAN Energy Solutions* kombiniert mit der Anwendung *TechGuide* die AR-Technologie mit weiteren multimodalen Inhalten [Pete20, 38 ff.]. Die Anwendung, verfügbar auf einem Tablet-PC oder einer Datenbrille, ermöglicht es, Animationen und Videos abzuspielen, Anweisungen vorlesen zu lassen und PDF-Dokumente zu durchsuchen. Die Anwendung unterstützt Schiffsingenieure und Reedere auch mit einer digitalen Technischen Dokumentation.

Ein von Stock entwickelter Demonstrator unterstützt die Erstellung neuartiger Dokumentationen (vorzugsweise AR) am Beispiel der Automobilindustrie [Stoc07, S. 85 ff.]. Dieser ermöglicht es, am Desktop-Computer Arbeitsschritte auszuwählen, anzuordnen und zu verbinden sowie ihre Eigenschaften zu editieren. Ein Editor mit Schiebereglern erlaubt es, einfache Animationen zu erstellen. Für Rotationen besteht eine rudimentäre Eingabemöglichkeit, für die Animation komplexer Bewegungsabläufe steht die Entwicklung einer Benutzerschnittstelle noch aus [Stoc07, S. 90].

Für die Nutzung vorhandener Wissensressourcen zeigt Saske ein Konzept zur Integration einer AR-Arbeitsunterlage in ein PLM-System [Sask08, S. 20 ff.]. Ein implementierter Editor ermöglicht es, Arbeitsschritte anzulegen und zu editieren, bevor diese auf der digitalen Arbeitsunterlage wiedergegeben werden.

Rechtien und Redlich beschreiben eine AR-Applikation für die Technische Dokumentation [Rech17, S. 769 ff.]. Dabei handelt es sich um einen gekapselten Prototyp, der die anzuzeigenden Daten im lokalen Speicher eines Tablet-PCs vorhält. Die Applikation erlaubt es, Beschreibungen zu verschiedenen Baugruppen anzuzeigen, wahlweise auch in AR über die Anwendung *RE`FLECT ONE*. Auch die Verlinkung zu klassischen Handlungsbeschreibungen ist möglich. Die Erstellung der Inhalte und Textbausteine erfolgt im Component-Content-Managementsystem *COSIMA go!*. Die Autoren weisen abschließend darauf hin, dass für eine dauerhafte Entwicklung von AR-Anwendungen die Verfügbarkeit der 3D-Daten gewährleistet werden muss. Animationen können manuell angelegt werden.

Für die Erstellung von Animationen in Verbindung mit mobilen AR-Anwendungen hält der Markt Authoringsoftware, wie bspw. *WorkLink Create* von Scope AR [Scop20] oder *Vuforia Studio* von PTC [PTC20], bereit. Beide Lösungen erlauben es, Texte und Symbole frei anzuordnen, um eine AR-Szene aufzubauen. Der Erstellungsprozess ist auf eine allgemeine Anwendung und auf eine manuelle Bedienung der Software ausgelegt.

2.4 Zielsetzung der Arbeit

Sowohl AR als auch VR bieten viel Potenzial, um Geschäftsprozesse zu verbessern, insbesondere in der Instandhaltung [Kauf20, S. 365 ff.]. Porter und Heppelmann weisen darauf hin, dass wirksame AR-Erlebnisse auch die richtigen AR-Inhalte erfordern, sodass das Erstellen und Managen der Inhalte eine wichtige Rolle einnehmen [Port18, S. 31].

Palmarini et al. untersuchen AR-Anwendungen für die Instandhaltung und stellen fest, dass die Erstellung der AR-Inhalte überwiegend manuell erfolgt [Palm18, S. 230]. Auch Kothes untermauert die Bedeutung und den Bedarf der automatisierten Generierung der Inhalte für eine effiziente Informationsbereitstellung in der Instandhaltung [Koth11, S. 283].

Büttner et al. verweisen, unter Berücksichtigung der zunehmenden Komplexität der Arbeitsprozesse, auf den erhöhten Aufwand und auf weniger Zeit zur Erstellung der digitalen Informationsinhalte [Bütt17, S. 437].

Palm et al. unterstreichen ebenfalls die Potenziale der virtuellen Technologien für die Instandhaltung, weisen jedoch gleichzeitig darauf hin, dass die wesentlichen, wissenschaftlichen Herausforderungen u. a. aus der Auswahl geeigneter Hardware, der Erstellung sowie der Verwaltung der digitalen Inhalte bestehen [Palm18, S. 231.].

Zwar existieren bereits AR-Anwendungen in zahlreichen Projekten und Produkten innerhalb der industriellen Praxis (vgl. Abschnitt 2.3.3), jedoch sind diese nicht auf ein breit anwendbares und nutzerfreundliches Gesamtsystem zur Erstellung und Visualisierung von digitalen Anleitungen für mobile Assistenzsysteme ausgelegt. Ebenfalls fehlen zugrundeliegende Aufwandsbewertungen und Untersuchungen, die die gezielte Anwendung der einzelnen Technologien und der jeweiligen

Funktionalität in einem durchgängigen System ausarbeiten. Für eine erfolgreiche Integration virtueller Technologien muss zunächst Klarheit darüber bestehen, welche Technologie für welchen Anwendungsfall eingesetzt werden soll [Mehl14, S. 129 ff.]. Eine vorhergehende Analyse der Prozesse sowie eine Erhebung von bestehenden Optimierungspotenzialen ist daher unverzichtbar [Koth11, S. 282]. Auch existieren derzeit keine umfassenden Produktivitätsuntersuchungen, die die Effektivität und Effizienz sowohl der digitalen Anleitungen als auch der dafür eingesetzten Erstellungs-Tools bewerten und die für einen erfolgreichen Einsatz ausschlaggebende Nutzerzufriedenheit erfassen [Jost17, S. 163].

Eine Anwendung, die es vermag, unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte effizient Instandhaltungsinformationen zu erstellen und dem Nutzer bereitzustellen, fehlt zum heutigen Zeitpunkt. Hieraus resultiert der Bedarf für die vorliegende Arbeit. Entsprechend der oben aufgeführten zusammengefassten Defizite hat diese zum Ziel:

- Die Analyse der Redaktionsprozesse und der Informationserstellung sowie der Instandhaltungsprozesse und der Informationshandhabung zur Erhebung von gezielten Verbesserungsbedarfen.
- Die Entwicklung eines umfassenden und allgemeingültigen Gesamtsystems zur Erstellung von Visualisierung digitaler Anleitungen auf mobilen Assistenzsystemen.
- Die Untersuchung der Praxistauglichkeit der einzelnen Anwendungen des Gesamtsystems zur Erstellung und Visualisierung von digitalen Anleitungen sowie die Bewertung der Anwendungen durch die verschiedenen Nutzer im praktischen Einsatz.

3 Prozesse, Aufwände und Anforderungen

Untersuchungen über den industriellen Einsatz von Augmented Reality und Virtual Reality verdeutlichen, wie die virtuellen Technologien in der industriellen Praxis eingesetzt werden (Abschnitt 2.3). Ein erfolgreicher Einsatz der Technologien für die Bereitstellung von Instandhaltungsinformationen ist jedoch stark abhängig von der zugrundeliegenden Analyse der konkreten Anwendungsbereiche und Optimierungspotenziale [Koth11, S. 282]. Darauf aufbauend lassen sich direkte Anforderungen an eine gezielte Verbesserung der Prozesse formulieren.

Das vorliegende Kapitel untersucht die Informationsbereitstellung in den direkten und indirekten Bereichen der Instandhaltung, identifiziert Aufwände und formuliert Anforderungen an ein Lösungskonzept für eine effiziente Informationsbereitstellung in der Instandhaltung mit virtuellen Technologien.

3.1 Redaktionsprozesse und Handlungsbereiche

Die Mitarbeiter aus der Technischen Redaktion erstellen in mehreren Schritten Anleitungen und Abbildungen für den Aufbau der Technischen Dokumentation. Diese bildet die informative Grundlage für die späteren Instandhaltungsarbeiten.

3.1.1 Redaktionsprozesse

Um einen besseren Überblick über die redaktionellen Aufgaben zu erhalten, ist es erforderlich, diese in eine logische Reihenfolge zu bringen. Abbildung 15 zeigt den Redaktionsprozess in einer verallgemeinerten Form.

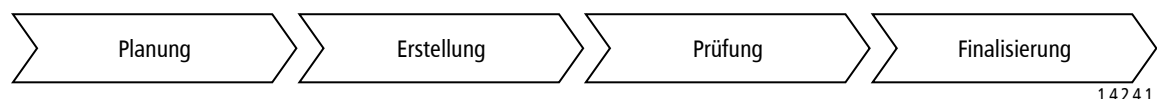


Abbildung 15: Redaktionsprozess in einer verallgemeinerten Form

Planung

In der Regel erfolgen die Entwicklung und die Dokumentation der Produkte in unterschiedlichen Abteilungen eines Unternehmens, sodass die Technischen Redakteure nicht unmittelbar in den Wissensaufbau aus der Konstruktion eingebunden sind. Sie müssen die technischen und sicherheitsrelevanten Aspekte der Produkte häufig im Nachhinein durch aufwändige Recherchearbeiten und Rückfragen klären.

Häufig erklären Produktexperten dazu die Funktionsweise von Komponenten am realen Produkt. Um die Vorgehensweise zu dokumentieren, können die Technischen Redakteure Videokameras vor Ort installieren und die Arbeitsschritte und Besonderheiten mithilfe von handschriftlichen Notizen und Fotoaufnahmen protokollieren. Die Mitschriften und Aufnahmen nutzen die Redakteure als Grundlage für die spätere Ausarbeitung der Anleitungen sowie für die Beschreibung der Handlungen und Hinweise.

Im Anschluss erfolgt die Auswertung der gesammelten Inhalte. Je nach Umfang der Arbeiten kann sich diese über mehrere Tage erstrecken. Allerdings ist die Verfügbarkeit der Produkte zu Demonstrationszwecken, aus zweierlei Gründen, nicht immer gegeben:

- Das Produkt befindet sich noch in der Fertigung.
- Das Produkt wird bereits an den Kunden ausgeliefert.

Um diesen Umständen auszuweichen, greifen die Konstrukteure und Redakteure auf ähnliche und verfügbare Produktvarianten zurück. Das hat jedoch zur Folge, dass die Anschaulichkeit abnimmt.

Erstellung

Die aufwändigste Phase des Redaktionsprozesses ist die eigentliche Erstellung der Inhalte. Dazu zählen in erste Linie die Anleitungen sowie die Zeichnungen und technischen Illustrationen zur Veranschaulichung der Handlungen.

Für die Erstellung der Abbildungen greifen die Redakteure auf die 3D-CAD-Modelle aus der Konstruktion zurück und erzeugen daraus, in einem mehrstufigen Prozess, die technischen Illustrationen. Abbildung 16 veranschaulicht die Aufwände während der Illustrationserstellung.

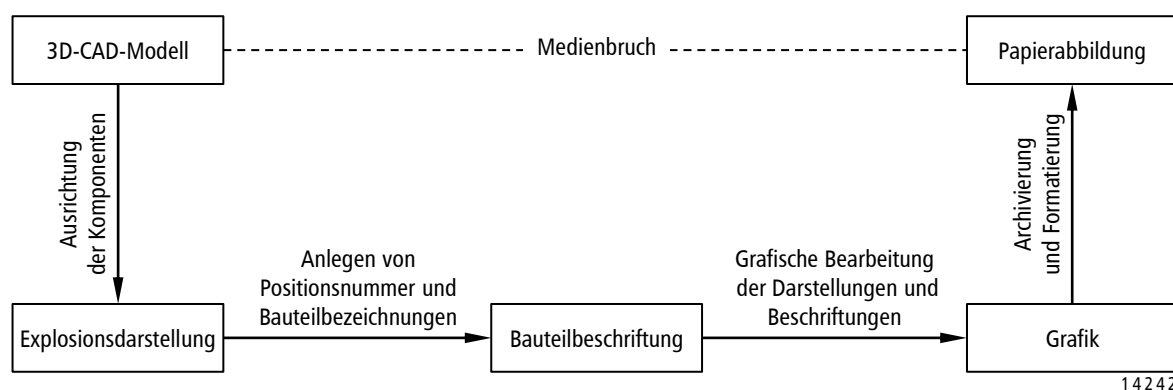


Abbildung 16: Tätigkeiten während der Illustrationserstellung

Häufig müssen die Technischen Redakteure im CAD-System die verschiedenen Komponenten manuell verschieben, um eine Explosionsdarstellung zu erhalten. Diese dient der späteren Visualisierung von Demontagehandlungen und der Identifikation einzelner Bauteile. Dazu werden die Bauteile um Positionsnummern erweitert und anschließend in einer tabellarischen Darstellung mit den Bauteilbezeichnungen verknüpft. Die Bezeichnung der Bauteile stimmt häufig nicht mit den Einträgen in der Bauteilliste des CAD-Modells überein, sondern muss in der Konstruktion nachgefragt oder aus den PDM-/PLM-Systemen herausgesucht werden. Abschließend finalisieren die Technischen Redakteure die Darstellungen mithilfe verschiedener Bildbearbeitungssysteme. In diesem Arbeitsschritt passen sie die Darstellungen insbesondere an vorgegebene Standards an. Abschließend werden die Abbildungen nach einer einheitlichen Systematik abgelegt und archiviert.

Der gesamte Prozess ist geprägt von vielen einzelnen Arbeitsschritten, die heute noch weitgehend manuell ausgeführt werden müssen. Ergänzend dazu werden die in der Konstruktion aufwändig angelegten 3D-Modelle auf 2D-Ansichten heruntergebrochen, sodass an dieser Stelle von einem Medienbruch gesprochen werden kann.

Nach der Erstellung der Abbildungen entwerfen die Redakteure beschreibende Texte und legen Hinweise sowie Verweise auf ergänzende Zusatzinformationen an. Abbildung 17 verdeutlicht das gesamte Vorgehen während der Texterstellung.

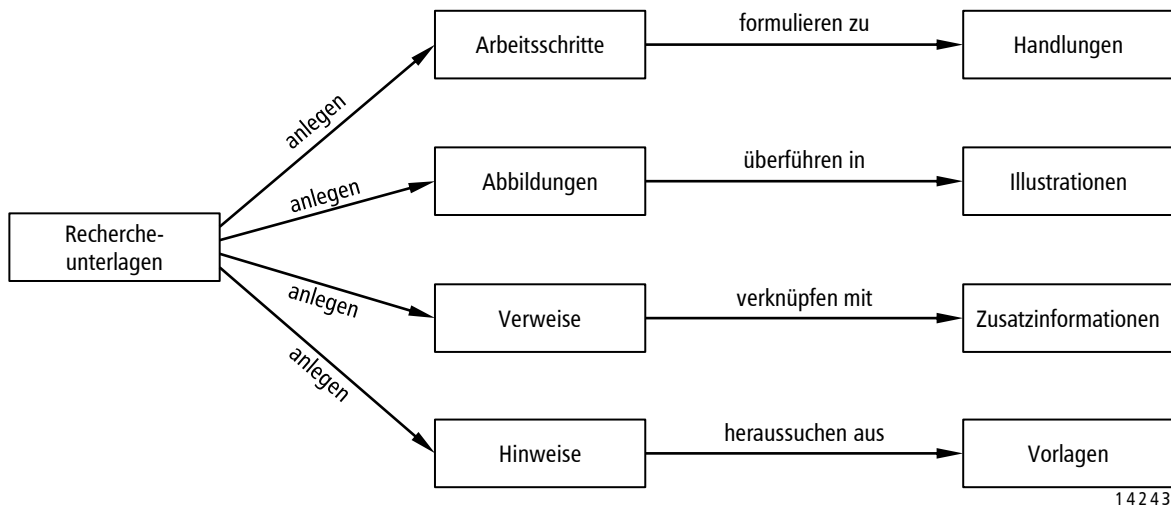


Abbildung 17: Aufwände während der Texterstellung

14243

Unter Zuhilfenahme der Notizen aus den Rechercheunterlagen legen die Redakteure für den Aufbau der Anleitungen zunächst die Arbeitsschritte an und formulieren diese zu Handlungen aus. Für die Formulierung der Texte greifen die Redakteure auf Listen mit Standardbezeichnungen zurück. Die Pflege der Vorlagen erweist sich häufig als mühselig, weshalb vereinzelt Unternehmen in Ausnahmefällen darauf verzichten. Dadurch unterscheiden sich die Textbeschreibungen je nach Redakteur im Schreibstil. Eine einheitliche Vorgehensweise bildet jedoch den industriellen Standard und wird von den meisten Unternehmen umgesetzt, erfordert jedoch auch den entsprechenden Aufwand zur Pflege der Terminologie.

Um die Handlungsbeschreibungen um relevante Zusatzinformationen zu erweitern, wie bspw. technische Angaben oder Werkzeuge, legen die Redakteure Verweise an und verknüpfen diese mit Tabellen, in denen die entsprechenden Informationen aufgelistet sind. Über die Positionsnummerierung aus den Abbildungen sind die Handlungsbeschreibungen mit den technischen Illustrationen verknüpft. Bei einer Vielzahl von Abbildungen, verteilt über mehrere Seiten, erfordert die Zuordnung viel Konzentration. Eine gezielte digitale Unterstützung existiert nach heutigem Stand noch nicht.

Um Produktschäden und gesundheitliche Gefahren durch eine unsachgemäße Handlung zu vermeiden, platzieren die Redakteure in den Anleitungen gezielt Hinweise und Warnungen. Dafür greifen die Mitarbeiter ebenfalls auf Vorlagen, sog. Module, zurück.

Prüfung

Nach der Fertigstellung der Anleitungen erfolgt die Prüfung der Bild- und Textinhalte. Dafür lesen die Redakteure die Anleitungen und überprüfen sowohl die inhaltliche Vollständigkeit und Richtigkeit als auch die Darstellung und das Layout. Für das technische Lektorat werden die Redakteure von den Mitarbeitern aus der Konstruktion unterstützt.

Finalisierung

Zum Schluss werden die gesamten Inhalte für den internationalen Vertrieb teilweise in mehrere Fremdsprachen übersetzt. Diese Aufgabe erfolgt je nach verfügbaren Kapazitäten entweder durch eigene Mitarbeiter aus der Redaktion oder durch extern beauftragte Unternehmen und Dienstleister. Die Aufwände für die Übersetzung der Inhalte können mit einem steigenden Standardisierungsgrad des Quelltextes reduziert werden.

Um den Fokus der vorliegenden Arbeit auf gezielte Aspekte des Redaktionsprozesses ausrichten zu können, ist es notwendig, Handlungsbereiche zu identifizieren.

3.1.2 Handlungsbereiche

Für die Analyse der verschiedenen Zeitanteile der Mitarbeiter existieren unterschiedliche Verfahren. Die Erfassung der benötigten Zeit für die Ausführung bestimmter Arbeitsabschnitte erfolgt entweder durch einen Beobachter (Fremdaufschrieb), durch den Mitarbeiter selbst (Selbstaufschrieb) oder durch die Befragung der Mitarbeiter [REFA97, S. 61 f.].

Tietze greift die Möglichkeit der Zeitmessung mithilfe von Multimomentaufnahmen auf und präsentiert ein Verfahren, um die Arbeitsproduktivität in den direkten und indirekten Bereichen der Unikatproduktion zu analysieren [Tiet17, S. 31 ff.]. Das Verfahren sowie die zugrundeliegenden Methoden lassen sich auch für die vorliegenden Untersuchungen in den indirekten Bereichen anwenden. Die zeitliche Messung erfordert jedoch die Begleitung während des gesamten Dokumentationsprozesses. Die Aufträge der Technischen Dokumentation sind als Projekte organisiert und erstrecken sich über mehrere Monate. Die Messung der Zeitanteile würde viel Zeit in Anspruch nehmen. Eine alternative Möglichkeit ergibt sich aus der Befragung sowie der Abschätzung der Zeitanteile durch die Mitarbeiter.

Mundt nutzt das analytische Schätzen zur Datenerhebung in der Technischen Redaktion eines Herstellers für Kompressoren [Mund19, S. 38 ff.]. Zwar entspricht die Güte der durch die Befragung erhobenen Daten nicht den übrigen Erhebungstechniken, dennoch ist die Aussagekraft groß [BMI18, S. 242].

In Anlehnung an das Vorgehen nach Mundt [Mund19, S. 42] zur Ermittlung der Zeitanteile in der Technischen Redaktion wurden in insgesamt zwei Unternehmen Daten erhoben. Abbildung 18 zeigt die Auswertung der Ergebnisse aus der Befragung von insgesamt sechs Redakteuren, darunter auch zwei Teamleitern.

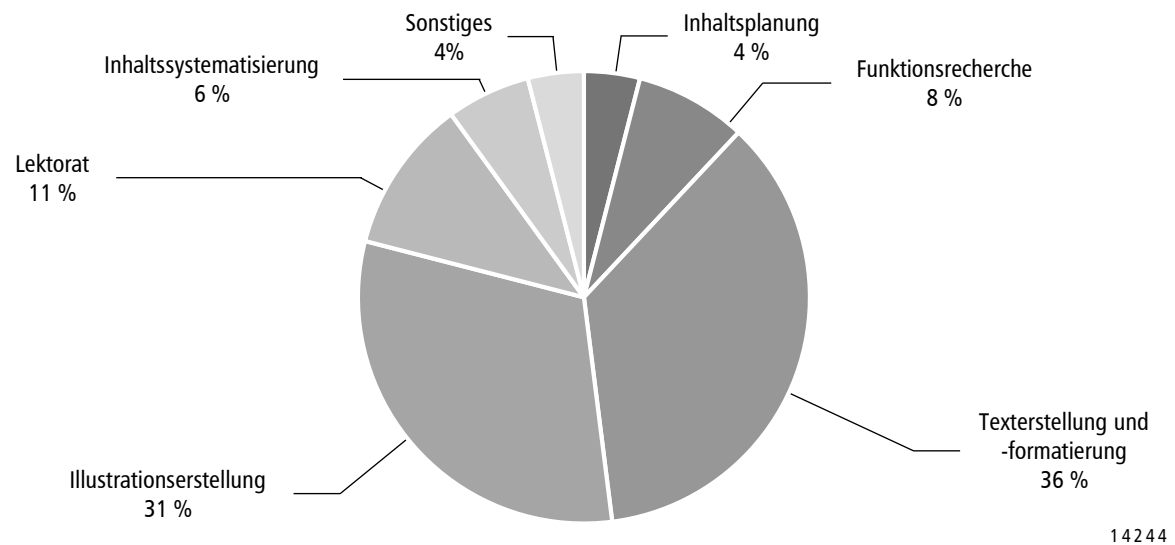


Abbildung 18: Aufwandsverteilung in der Technischen Redaktion

Um die Qualität der Schätzergebnisse zu erhöhen, wurden in einem vorgelagerten Interview mit den jeweiligen Teamleitern zunächst typische Teilaufgaben aus dem Redaktionsprozess (siehe auch Abschnitt 3.1.1) definiert. Die Untergliederung der Abläufe in einzelne Arbeitsschritte vereinfacht das Abschätzen. Die spätere Aufsummierung der Teilaufgaben ergibt den erforderlichen Aufwand für die Gesamtaufgabe [BMI18, S. 242].

Die Auswertung der Mitarbeiterbefragung zeigt deutlich die beiden Potenzialbereiche Text- sowie Illustrationsstellung. Demnach wird der Fokus der vorliegenden Arbeit in den indirekten Bereichen auf die Erstellung der Inhalte ausgerichtet.

Weitere Aussagen der Befragten zeigen, dass auch die Funktionsrecherche deutlich verbessert werden kann. Hierzu ist die Zusammenarbeit zwischen der Redaktion und der Konstruktion möglichst anschaulich zu gestalten, z. B. indem die durchzuführenden Instandhaltungsarbeiten und die durchführungsrelevanten Informationen am 3D-Modell des Produktes in Virtual Reality geplant werden, falls dies nicht sinnvoll am realen Objekt möglich ist.

Zusammenfassend ergeben sich aus der Analyse der indirekten Bereiche bzw. der Redaktionsarbeiten primär die Handlungsfelder der Text- und Illustrationserstellung. Fasst man die Aufgaben Inhaltsplanung und Funktionsrecherche zusammen, ergeben diese ebenfalls ein potenzielles Handlungsfeld. Die Digitalisierung dieser Handlungsfelder kann sich ebenfalls positiv auf die anderen Bereiche auswirken.

3.2 Instandhaltungsprozesse und Informationsbedarfe

Nach der Erstellung und Finalisierung der Technischen Dokumentation wird diese, gemeinsam mit dem Produkt, an den Kunden ausgeliefert. Die Anleitungen dienen anschließend dem Betreiber als Informationsgrundlage zur Durchführung der Instandhaltungsarbeiten. Um bessere Einblicke in die Handhabung der Papierdokumente zu erhalten, gilt es, zunächst die Instandhaltungsabläufe (Abschnitt 3.2.1) abzubilden und die Informationsbedarfe (Abschnitt 3.2.2) innerhalb der einzelnen Aufgaben zu benennen.

3.2.1 Instandhaltungsprozess

Jede Instandhaltungsmaßnahme sowie der damit angestoßene Prozess werden durch einen Auftrag ausgelöst [DIN 31051, S. 5 ff.]. Der Auftrag bildet auch die Grundlage für die anschließende terminliche und inhaltliche Steuerung sowie Fakturierung der Arbeiten.

Abbildung 19 zeigt den Instandhaltungsprozess in generalisierter Form.

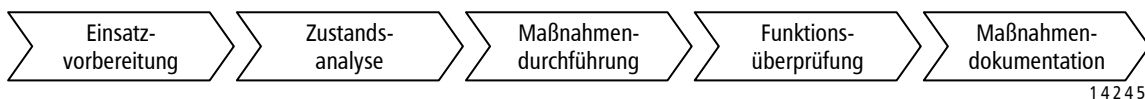


Abbildung 19: Instandhaltungsprozess in generalisierter Form [Melu19b, S. 183]

Einsatzvorbereitung

Die Einsatzvorbereitung umfasst eine erste Prüfung der anstehenden Arbeiten sowie die Zusammenstellung der für den Auftrag erforderlichen Werkzeuge und Materialien. Dabei wird nach Tätigkeiten unterschieden, die im Büro oder am Einsatzort stattfinden. Während im Büro eher organisatorische Aufgaben wie bspw. Kapazitäts- und Terminplanung anfallen, erfolgt am Einsatzort die Vorbereitung des Arbeitsplatzes für die bevorstehenden Arbeiten.

Zustandsanalyse

Am Einsatzort erfassen und prüfen die Mitarbeiter die Maschinen- und Anlagenzustände und erstellen im Anschluss einen technischen Befund. Dieser bildet die Grundlage für die Planung der konkreten Arbeiten.

Maßnahmendurchführung

Während der Maßnahmendurchführung werden die geplanten Arbeiten an den Maschinen und Anlagen umgesetzt. Dafür werden i. d. R. zunächst Bauteile demontiert, um die betroffene Einheit freizulegen. Nach dem Austausch der Ersatz- und Verschleißteile werden die zuvor demontierten Bauteile wieder zusammengebaut.

Funktionsüberprüfung

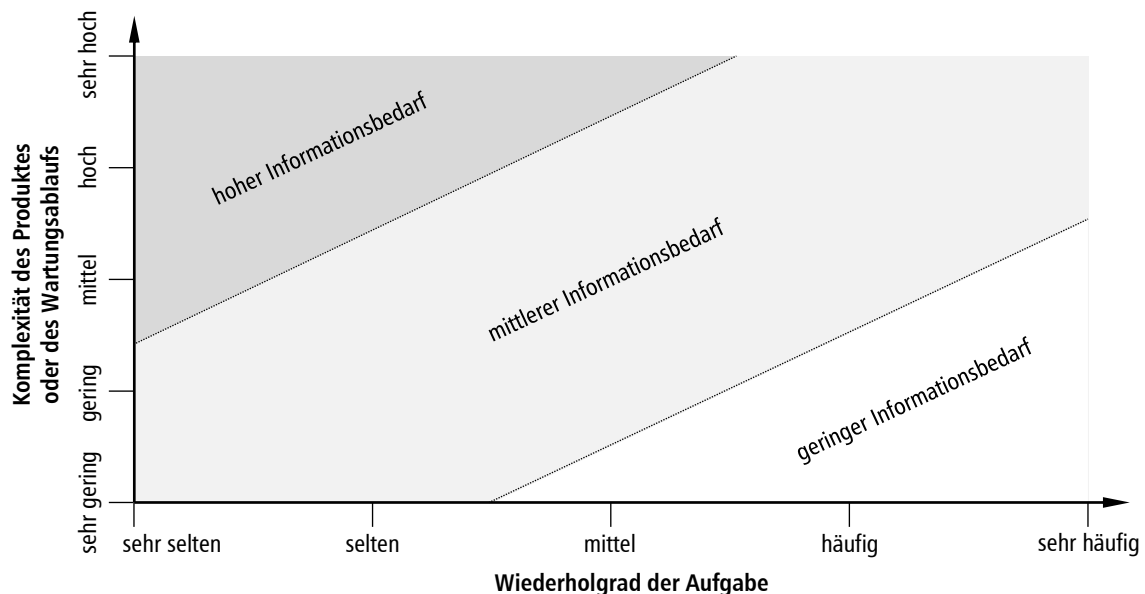
Im Anschluss erfolgen die Inbetriebnahme der Einheiten sowie die Prüfung der Funktionsfähigkeit.

Maßnahmendokumentation

Zum Schluss werden die durchgeführten Arbeiten protokolliert und in einem Abschlussbericht zusammengefasst. Dieser bildet sowohl die Grundlage für die Abrechnung der Arbeiten bei dem Kunden als auch für die Maschinen- und Anlagendokumentation bzw. Instandhaltungshistorie.

Die Arbeiten werden je nach strategischer Ausrichtung der Betreiber entweder durch eigene Mechaniker oder durch Servicetechniker externer Dienstleister bzw. der Herstellerfirmen durchgeführt.

Für die Planung, Vorbereitung und Durchführung der Arbeiten greifen sowohl die eigenen Mitarbeiter als auch Servicetechniker auf die Anleitungen aus der Technischen Dokumentation zurück. Je nach Komplexität der Aufgabe und nach Erfahrungswissen im Umgang mit dem Produkt steigt der Bedarf für die Informationen zur korrekten Umsetzung der Arbeiten. Abbildung 20 zeigt den Informationsbedarf in Abhängigkeit von der Produktkomplexität und vom Wiederholgrad der Aufgabe.



14246

Abbildung 20: Informationsbedarf in Abhängigkeit von der Produktkomplexität (Y-Achse) und dem Wiederholgrad der Aufgabe (X-Achse)

Während regelmäßige Wartungs- und Reparaturarbeiten an einfachen Produkten durch geschulte Mitarbeiter ohne unterstützende Anleitungen fehlerfrei umgesetzt werden können, steigt der Informationsbedarf bei komplexen Produkten und seltenen Aufgaben.

3.2.2 Informationsbedarfe

Für die Planung, Vorbereitung und Durchführung der Instandhaltungsarbeiten greifen die Mechaniker und Techniker auf unterschiedliche Unterlagen der Technischen Dokumentation zurück. Abbildung 21 zeigt den grundlegenden Informationsbedarf entlang der Instandhaltungsabschnitte.

Prozesse, Aufwände und Anforderungen

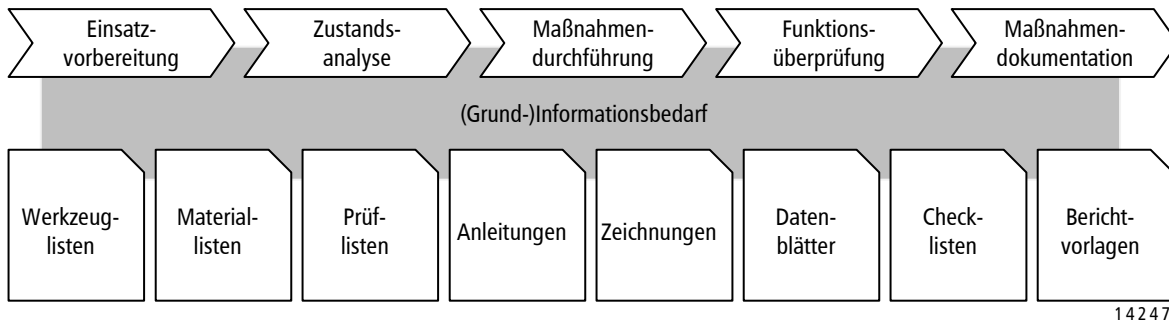


Abbildung 21: Informationsbedarf für den Instandhaltungsprozess in Anlehnung an [Melu19b, S. 183]

Für die Vorbereitung der Arbeiten sind insbesondere Werkzeug- und Materiallisten relevant. Mithilfe der Listeneinträge stellen die Mitarbeiter das notwendige Equipment zusammen. Auch bekannte Ersatz- und Verschleißteile werden aus Listen abgelesen oder aus den Zeichnungen herausgesucht und an die Arbeitsvorbereitung zur Bestellung weitergeleitet.

Für die Zustandsanalyse, die Maßnahmendurchführung und die Funktionsüberprüfung greifen die Mitarbeiter auf Prüflisten, Anleitungen sowie Checklisten zurück. Diese leiten die Anwender durch den Prozess und beschreiben die auszuführenden Handlungen. Ergänzende Zeichnungen und Datenblätter stellen den Bezug zur Konstruktionszeichnung her und benennen relevante technische Parameter. Die Informationen sind häufig über das gesamte Dokument verteilt, was die Handhabung der Dokumente erschwert [Swel94, S. 303]. Abbildung 22 zeigt exemplarisch die Bereitstellung von Papierdokumenten für die Motorwartung.

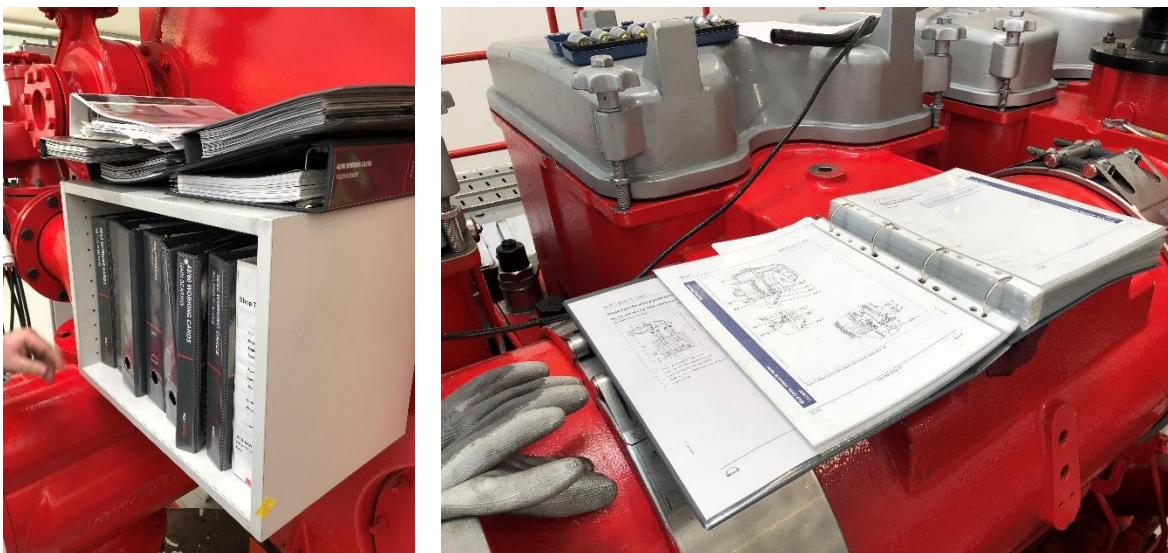


Abbildung 22: Bereitstellung von Papierdokumenten am Beispiel der Motorwartung

Parallel zur Durchführung der Arbeiten werden die ausgeführten Tätigkeiten handschriftlich protokolliert und später manuell in die Berichtsvorlagen überführt. Der Aufwand für die Dokumentation steigt mit dem Umfang der Arbeiten. Gleichzeitig ist auch die Anwendung und die Handhabung der Papierdokumente sehr aufwändig – bedingt durch den Aufbau und die Struktur der Anleitungen.

3.3 Papieranleitungen und ihre Anwendungsdefizite

Der vorangegangene Abschnitt hat die prozeduralen Informationsbedarfe für die verschiedenen Abschnitte der Instandhaltung – insbesondere bei komplexen Arbeiten – dargelegt und Aufwände in der Handhabung der Papierdokumente benannt. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Ursachen für die Aufwände. Abschnitt 3.3.1 zeigt, wie der Aufbau und die Struktur von Papieranleitungen die Handhabung erschweren. Abschnitt 3.3.2 quantifiziert die Aufwände mithilfe einer Studie.

3.3.1 Aufbau und Inhalte

Jede Anleitung hält für den Leser zunächst wichtige technische, organisatorische und sicherheitsrelevante Hinweise bereit. Die anschließenden Arbeitsfolgen sind aufgebaut aus einer Abfolge von Arbeitsschritten mit Handlungsbeschreibungen und Verweisen auf ergänzende Datenblätter sowie Zeichnungen. Weitere Listen innerhalb der Anleitungen beschreiben die notwendigen Werkzeuge und Materialien. Abbildung 23 zeigt eine qualitative Herleitung von möglichen Aufwänden aus dem Aufbau und der Struktur von Papieranleitungen.

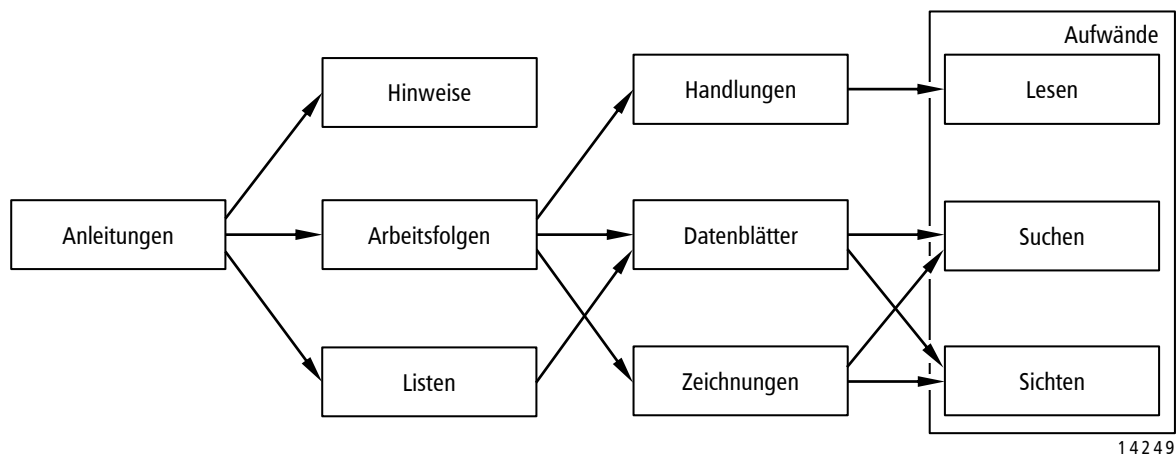


Abbildung 23: Qualitative Schlussfolgerung der aufwändigen Handhabung von Papieranleitungen

Die Handlungen der Arbeitsfolgen müssen von dem Anwender zunächst gelesen und verstanden werden. Sprachliche Barrieren, insbesondere bei fremdsprachigen Mitarbeitern, sowie fehlende Übersetzungen der Anleitungen erschweren die Informationsaufnahme. Nicht selten werden die gelesenen Anleitungen nicht richtig verstanden (hoher Interpretationsspielraum). Die Folgen sind falsche Ausführungen und mögliche Beschädigungen der Maschinen und Anlagen.

Relevante technische Parameter, wie z. B. Anzugsdrehmomente, Lagerspielwerte oder Spaltmaße, sind in Datenblättern aufgelistet und müssen nach dem Lesen der Handlungen zunächst herausgesucht und abgelesen werden. Dies erweist sich in der Praxis häufig als sehr schwierig, weil die Datenblätter nicht immer nach einer einheitlichen Logik sortiert sind und aufwändig herausgeblättert werden müssen.

Zur Verdeutlichung der von den Maßnahmen betroffenen Bauteile und Bauteilgruppen halten die Anleitungen Zeichnungen und technische Illustrationen (auch ISO-Ansichten genannt) zwischen den einzelnen Texten bereit. Der Verweis auf die entsprechenden Komponenten erfolgt mithilfe von Positionsnummern. Für eine eindeutige Zuordnung müssen die Zeichnungen herausgesucht und gesichtet werden. Unter Umständen werden die Komponenten und Positionsnummern innerhalb der Handlungen nicht benannt, sodass diese aus dem Kontext weiterer Zeichnungen erschlossen werden müssen. Das Vorgehen erschwert den Informationsprozess und erhöht die Suchaufwände.

3.3.2 Suchaufwände in Papieranleitungen

Um die zuvor benannten Aufwände und Nachteile bei der Anwendung von Papieranleitungen (Abschnitt 3.3.1) näher zu untersuchen und quantifizieren zu können, wurden Laborversuche durchgeführt.

Ziel der Studie war es, die zeitliche Aufteilung der Zustände Lesen, Suchen und Sichten zu erfassen sowie die Textverständlichkeit und die Akzeptanz der Papieranleitungen zu prüfen.

Zu Beginn der Studie wurde die Hypothese aufgestellt, dass das Suchen in den Wartungsdokumenten den längsten Zeitanteil, neben dem Lesen und Sichten, einnimmt. Die beiden Tätigkeiten Suchen und Sichten, welche zunächst synonym erscheinen, wurden für die Durchführung der Versuche differenziert betrachtet: Die Tätigkeit Suchen tritt auf, sobald die Probanden in den Anleitungen bestimmte Inhalte nachschlagen und wenig bis keine Information darüber haben, wo die Inhalte festgehalten sind. Die Tätigkeit Sichten bezeichnet hingegen den Vorgang, bei dem die Probanden Informationen gezielt, z.B. aus Listen, ablesen.

Alle Versuchspersonen bekamen im Vorwege eine Einführung in die Technische Dokumentation mit den darin enthaltenen Anleitungen sowie in die Aufgabe. Um Störeffekte, wie bspw. Vorwissen, zu vermeiden, erfolgte die Einführung mit ausgewählten Beispielanleitungen ohne direkten Bezug zur späteren Aufgabe. Für den Versuch wurden reale Betriebsanleitungen und Zusatzdokumente für die Wartung von Kompressoren verwendet. Die Aufgabe der Teilnehmer bestand darin, eine Wartungsanleitung durchzuarbeiten und Verständnisfragen zur Wartungsaufgabe zu beantworten.

Zur Erfassung der Tätigkeiten Lesen, Suchen und Sichten wurden die Probanden während der Durchführung begleitet. Dabei wurde die jeweilige Tätigkeitsdauer aufgenommen, auch mithilfe der Methode *Lautes Denken*. Parallel erhielten die Teilnehmer Fragen zu den Handlungsanleitungen und Illustrationen.

Abbildung 24 zeigt die Auswertung der Ergebnisse aus den Versuchen:

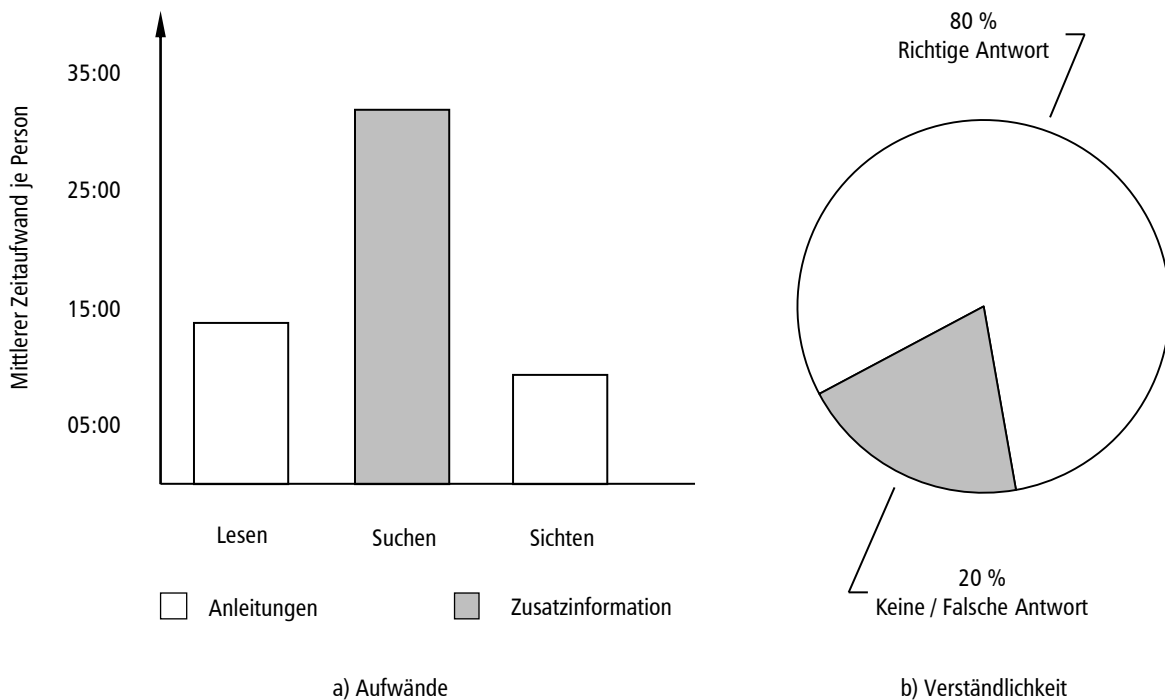


Abbildung 24: Suchaufwände und Fehleranfälligkeit von Papieranleitungen [Melu19b, S. 185]

Die Auswertung der Ergebnisse (Abbildung 24a) zeigt, dass der Zustand Suchen im Informationsprozess der Probanden den höchsten Anteil der Zeit einnimmt. Ursache dafür ist das Suchen nach relevanten Zusatzinformationen, die notwendig sind, um die Einzelheiten eines Arbeitsschritts vollständig zu verstehen. Bereits die geringe Anzahl der an dem Versuch teilgenommenen Probanden (n=8) reicht aus, um statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Zeitaufwände festzustellen zu können.

Mithilfe eines Fragenkataloges wurden sowohl die Erinnerung der Testpersonen an die bereitgestellten Bild- und Textinformationen untersucht als auch deren Verständlichkeit. Dafür sollten die Probanden die Informationen aus den Anleitungen richtig zuordnen. Abbildung 24b zeigt, dass 20 Prozent der gestellten Fragen zu den Inhalten falsch oder gar nicht beantwortet wurden. Die Ursache dafür lässt sich auf die Anordnung der Informationen in den Anleitungen zurückführen. Einige der Probanden hatten Schwierigkeiten, die Angaben und Werte aufzufinden, und haben infolgedessen bei der Beantwortung der Fragen Annahmen getroffen, die zu einem falschen Ergebnis geführt haben. Ähnliches lässt sich auch in der Praxis beobachten (Abschnitt 3.3.1).

Die umständliche Handhabung der Anleitungen spiegelt sich auch in der anschließenden Bewertung der Papierdokumente wider (vgl. Abbildung A im Anhang). Dafür bewerteten die Probanden auf einer Likert-Skala in dem standardisierten Fragebogen *System Usability Scale* (SUS) [Bang09, S. 114 ff.] die Gebrauchstauglichkeit anhand unterschiedlicher Fragen. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Papierdokumente im nicht akzeptablen Bereich der Nutzerzufriedenheit eingestuft wurden.

3.4 Fazit der Analyse

Die vorangegangenen Abschnitte haben die Auswirkungen der derzeitigen Informationsbereitstellung in der Instandhaltung dargelegt. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Indirekte Bereiche

Die Recherche der Funktionsweise am realen Produkt erweist sich aus organisatorischen Gründen häufig als sehr schwierig. Auch die Kommunikation und Abstimmung der Produkterneuerungen und -besonderheiten zwischen der Konstruktion und der Technischen Redaktion sind teilweise sehr umständlich (vgl. Abschnitt 3.1.1).

Zwar bieten neuartige Technologien geeignete Ansätze, um auch Planungsaufgaben effizienter zu gestalten (vgl. Abschnitt 2.3.3), jedoch fehlen konzeptionelle Lösungen, um die Anwendungen in den Redaktionsprozess zu integrieren. Weiterhin fehlen Konzepte für Anwenderwerkzeuge zur Planung und Umsetzung der Redaktionsinhalte.

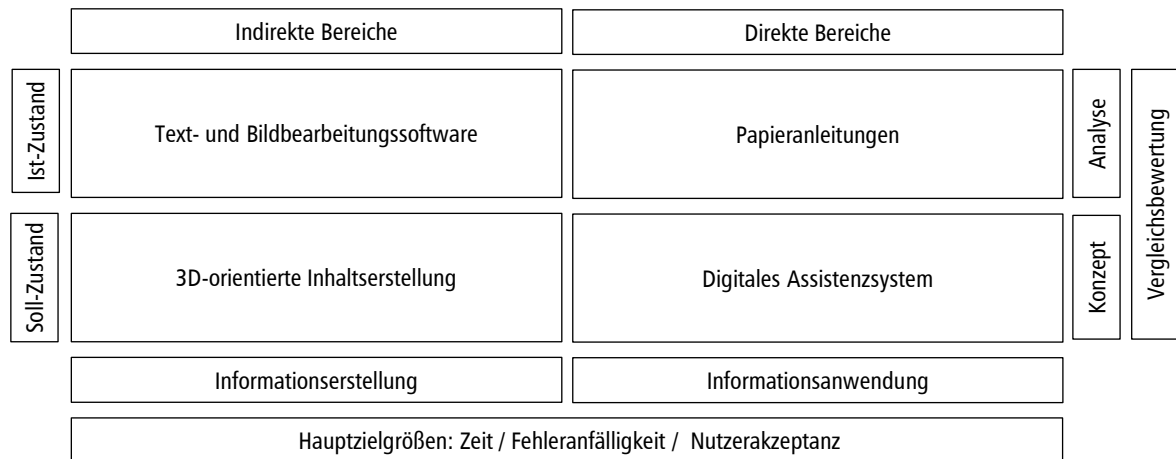
Die Erstellung der Inhalte erfolgt überwiegend manuell. Mit erheblichem Aufwand (vgl. Abschnitt 3.1.2) schreiben die technischen Redakteure Texte und erzeugen Abbildungen für die Technische Dokumentation. Obwohl den technischen Zeichnungen und Illustrationen 3D-CAD-Modelle zugrunde liegen, werden diese nur als Vorlage zur Erzeugung der Abbildungen genutzt, aber nicht wiederverwendet, um daraus direkt digitale Anleitungen zu generieren.

Direkte Bereiche

Das Arbeiten mit Papieranleitungen während der Maßnahmenausführung erweist sich häufig als sehr umständlich (vgl. Abschnitt 3.2.1). Zum einen müssen Mitarbeiter die Anleitungen lesen und weitere Informationen aus unterschiedlichen Dokumenten aufwändig heraussuchen. Auch die Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen sowie die Protokollierung der Maschinenwerte und -zustände vor Ort erfolgt derzeit manuell und erfordert zusätzlichen Aufwand. Nicht selten führt die umständliche Handhabung der Papierunterlagen zu Fehlern bei der Umsetzung (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Ursachen liegen im Aufbau der Papierdokumente (vgl. Abschnitt 3.3.1).

Um die Produktdokumentation für die Kunden und Dienstleister anschaulicher gestalten zu können, existieren unterschiedliche Konzepte für digitale Assistenzsysteme und Augmented-Reality-Anwendungen (vgl. Abschnitt 2.3.3). Bei den derzeit verfügbaren Konzepten zur gezielten Anwendung digitaler Assistenzsysteme existieren keine umfassenden Lösungen, die den durchgängigen Informationsbedarf von der Konstruktion über die Technische Redaktion bis zur Durchführung und Dokumentation der Instandhaltung berücksichtigen.

Zusammenfassend kann die Informationsbereitstellung in den direkten und indirekten Bereichen der Instandhaltung deutlich verbessert werden, wenn es gelingt, an den digitalen Informationsfluss aus der Konstruktion anzuknüpfen und aus den vorhandenen 3D-CAD-Modellen aufwandsarm digitale Anleitungen zu erstellen. Durch die digitale Informationsbereitstellung auf mobilen Assistenzsystemen gelingt auch die Rückmeldung der durchgeführten Arbeiten deutlich einfacher. Abbildung 25 stellt den Ist-Zustand dem Soll-Zustand gegenüber.



14251

Abbildung 25: Gegenüberstellung von Ist- und Soll-Zustand

Das Konzept für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem sowie die 3D-orientierte Generierung der digitalen Inhalte soll die Informationsprozesse in der Technischen Redaktion und operativen Instandhaltung verbessern. Ziel des Konzeptes ist es, Zeit für die Informationserstellung sowie -anwendung einzusparen und Fehler während der operativen Instandhaltung zu vermeiden. Gleichzeitig soll die Nutzerakzeptanz erhöht werden.

3.5 Anforderungen

Unter Berücksichtigung der im vorhergehenden Abschnitt 3.4 zusammengefassten Defizite der Informationsbereitstellung in der Instandhaltung sowie der Zielausrichtung für einen verbesserten Lösungsansatz leitet dieser Abschnitt Anforderungen an das Informationsmanagement für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem ab. Die Anforderungen können wie folgt unterteilt werden:

1. Anforderungen an eine effiziente Informationsorganisation (O)
2. Anforderung an eine aufwandsarme Inhaltserstellung (E)
3. Anforderungen an eine anwendergerechte Inhaltsvisualisierung (V)
4. Anforderungen an die Praxistauglichkeit (P)

3.5.1 Informationsorganisation

Um die digitale Bereitstellung von Informationen mithilfe mobiler Assistenzsysteme zu ermöglichen, müssen sowohl die Erstellung als auch die Visualisierung der Inhalte in einem logischen Prozess abgebildet und mit der vorhandenen Auftrags- und Datengrundlage verknüpft werden.

Anforderung O1: Modularer Systemaufbau

Für den Einsatz des mobilen Instandhaltungsassistenzsystems ist eine durchgängige Lösung erforderlich, die sowohl Technische Redakteure als auch die Endanwender bei der Aufgabenumsetzung unterstützt. Dazu zählen die Erstellung und Verwaltung sowie die Visualisierung der Anleitungen. Die Systemkomponenten unterscheiden sich deutlich je nach Aufgabe und Benutzer. Der modulare Aufbau des Gesamtsystems vermeidet manuelle Schnittstellen und erlaubt die Anbindung benutzergerechter Teilsysteme.

Anforderung O2: Projektorganisation

Um das Suchen nach Anleitungen zu vermeiden, müssen diese systematisch abgelegt und für den Benutzer zugänglich sein. Eine einheitliche Strukturierung der Anleitungen sowie die Zuordnung zu Aufträgen und Produkten erlaubt eine einheitliche Verwaltung der Daten. Gleichzeitig muss das neue Konzept die Anbindung an bestehende Systeme und die Unternehmens-IT ermöglichen, um Geometrie- und Metadaten für den Aufbau der digitalen Anleitungen exportieren zu können.

3.5.2 Aufwandsarme Inhaltserstellung

Um die Instandhaltungsinformationen auf einem mobilen Assistenzsystem anzeigen zu können, müssen die digitalen Inhalte zunächst einmal erzeugt werden. Die Reduzierung der Aufwände für die Erstellung der Inhalte ist ausschlaggebend für einen effizienten Einsatz mobiler Instandhaltungsassistenzsysteme. Im Detail ergeben sich hieraus drei Anforderungen, die jeweils einen Handlungsbereich (vgl. dazu Abschnitt 3.1.2) aus dem Redaktionsprozess verbessern:

Anforderung E1: Verbesserung der Planung und Recherche

Eine verbesserte Planung der Instandhaltung gelingt durch die Bereitstellung geeigneter Werkzeuge zur Recherche und Vorbereitung der Inhalte. Der neue Prozess muss den Redakteur befähigen, die Funktionalität und den Aufbau des Produktes nachvollziehen zu können, auch wenn aus organisatorischen Gründen keine der physischen Demonstratoren verfügbar sind. Um zu verhindern, dass die anschließende Vorbereitung der Skripte zur Ausarbeitung der Anleitungen zu viel Zeit in Anspruch nimmt, müssen Konzepte für eine einfachere Erstellung von Vorlagen entwickelt werden.

Anforderung E2: Vermeidung aufwändiger Textbeschreibungen und Verweise

Um das aufwändige Anlegen einzelner Arbeitsschritte sowie das Schreiben langer Handlungstexte zu vermeiden, soll das System den Technischen Redakteur während des Erstellungsprozesses unterstützen. Das System soll dem Anwender helfen, in wenigen Schritten ganze Anleitungen mit Arbeitsschritten anzulegen und mit relevanten Informationen zu verknüpfen. Dazu zählen bspw. Bauteilbezeichnungen, Technische Parameter sowie Hinweise und Warnungen. Der Prozess der Inhaltserstellung kann für den technischen Redakteur deutlich vereinfacht werden, wenn das System in der Lage ist, die Anleitungen (teil-)automatisiert zu generieren.

Anforderung E3: Vermeidung umständlicher Illustrationserstellung

Die Erstellung Technischer Illustrationen kostet die Technischen Redakteure viel Zeit und Mühe. Selbst wenn 3D-CAD-Modelle aus der Konstruktion vorliegen, werden diese nur selten zur Produktvisualisierung in der Technischen Dokumentation genutzt. Die anschauliche Visualisierung der 3D-CAD-Modelle in der Technischen Dokumentation setzt eine Verknüpfung mit den Anleitungen voraus. Das System soll den Technischen Redakteur dabei unterstützen, die 3D-Modelle des Produktes und der Baugruppen mit nur wenigen Arbeitsschritten mit den Anleitungen zu verknüpfen und diese bei Bedarf um Animationen zu erweitern, die die Aus- und Einbauvorgänge sowie die auszuführenden Handgriffe veranschaulichen.

3.5.3 Anwendergerechte Visualisierung und Rückmeldung

Eine anwendergerechte Visualisierung von Inhalten mithilfe digitaler Assistenzsysteme soll dabei helfen, die Zeit für die Ausführung von Instandhaltungsarbeiten zu senken und gleichzeitig Fehler während der Ausführung zu vermeiden. Gleichzeitig muss der Anwender die Möglichkeit haben, die ausgeführten Arbeitsschritte einfach zu protokollieren und zu dokumentieren. Dies gelingt, wenn die neue Lösung die Defizite der papiergebundenen Informationsbereitstellung behebt. Im Detail ergeben sich daraus die folgenden drei Anforderungen:

Anforderung V1: Vermeidung von Suchaufwänden

Um Suchaufwände zu vermeiden, müssen die Mitarbeiter aus der Instandhaltung direkten Zugriff auf Informationen erhalten, die für die korrekte Ausführung eines Arbeitsschritts benötigt werden. Zusatzinformationen, die für den aktuellen Arbeitsschritt relevant sind, müssen möglichst so aufbereitet und auf dem mobilen Assistenzsystem dargestellt werden, dass der Anwender diese direkt ablesen kann. Entscheidend für eine übersichtliche Darstellung ist der Umfang der angezeigten Informationen. Idealerweise bekommt der Anwender nur die Informationen angezeigt, die für den Vorgang notwendig sind.

Anforderung V2: Vermeidung von Ausführungsfehlern

Um Fehler während der Ausführung von Instandhaltungsarbeiten vermeiden zu können, müssen die Anleitungen auf den mobilen Assistenzsystemen den Nutzer anschaulich durch den Arbeitsprozess führen und alle für den Arbeitsvorgang erforderlichen Informationen anzeigen. Voraussetzung dafür ist, statische Zeichnungen und Illustrationen durch interaktive und dynamische 3D-Modelle zu ersetzen. Besonders erfahrene und trainierte Nutzer können die Animationen bei Bedarf auch ausblenden, um nur die für sie relevanten Informationen abzurufen.

Anforderung V3: Einfache Protokollierung und Dokumentation

Um die mühselige Protokollierung der ausgeführten Maßnahmen und die Dokumentation von Prüf- und Zustandswerten zu vereinfachen, soll das Instandhaltungsassistenzsystem dem Anwender die Möglichkeit geben, Arbeitsschritte mit geringem Aufwand zurückzumelden. Digitale Prüf- und Checklisten sowie die Möglichkeit, Fotos anzuhängen, können das Berichtswesen unterstützen.

3.5.4 Praxistauglichkeit

Der Erfolg neuartiger Technologien für den praktischen Einsatz ist stark abhängig von ihrer Produktivität und der Zustimmung der Nutzer. Daraus ergeben sich die folgenden beiden Anforderungen:

Anforderung P1: Produktiver Einsatz

Die prototypische Umsetzung des Lösungskonzeptes soll dem Nutzer den erforderlichen Funktionsumfang für die Umsetzung seiner Aufgaben bereitstellen. Dies gilt sowohl für die indirekten als auch für die direkten Bereiche. Entscheidend für den praktischen Erfolg ist, über die Funktionsfähigkeit hinaus, die Reduzierung von zeitlichen Aufwänden sowie der damit verbundenen Kosten.

Anforderung P2: Nutzerzufriedenheit

Die Zufriedenstellung der Nutzer einer eingesetzten Software ist ein entscheidendes Leitkriterium der Gebrauchstauglichkeit. Nur wenn es gelingt, die Zustimmung der Nutzer für das neue Lösungskonzept zu gewinnen und gegenüber der herkömmlichen Arbeitsweise hervorzuheben, kann ein produktiver Einsatz gewährleistet werden.

4 Informationsmodellierung und Systemaufbau

Ein Informationsmodell ist die Grundlage für modulare Assistenzsysteme für die Instandhaltung. Es schafft die notwendige Transparenz der Informationsflüsse und der erforderlichen Datenbasis. Weiterhin bildet das Modell die Grundlage für den komponentenorientierten Systemaufbau sowie die passende Hardwareauswahl für die Endanwender (vgl. Abbildung 26).

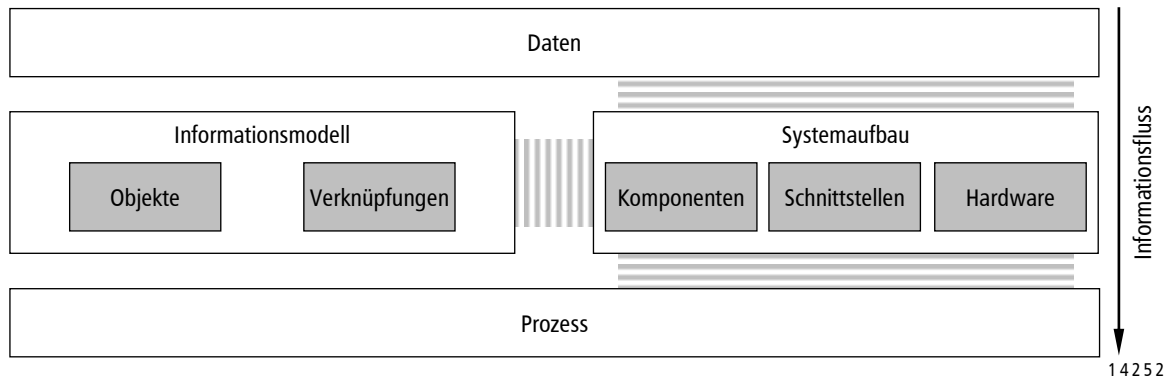


Abbildung 26: Prinzip-Skizze für die Informationsmodellierung und den Systemaufbau

4.1 Informationsmodellierung

Das Informationsmodell besteht aus Informationsobjekten, die logisch miteinander verknüpft sind. Als Ergebnis zeigt es eine Struktur mit Aufgaben und Arbeitsschritten sowie dem zuständigen Personal.

4.1.1 Informationskategorien

Für eine anschauliche Darstellung empfiehlt es sich, die Informationen zunächst in Kategorien einzuteilen. Die Kategorien sind so aufgebaut, dass sie sich bei Bedarf verfeinern lassen, um ein detaillierteres Abbild der Informationsflüsse darstellen zu können.

Organisation

Für die regelmäßige Durchführung von Wartungsarbeiten hält die Technische Dokumentation für jedes Produkt einen Instandhaltungsplan bereit. Dieser zeigt, häufig in Abhängigkeit der gelaufenen Betriebsstunden, die durchzuführenden Maßnahmen an. Reparaturarbeiten aufgrund von Ausfällen, Störungen oder besonderen Verschleißentwicklungen erfolgen außerplanmäßig und damit losgelöst vom Instandhaltungsplan. Zusammenfassend kann ein Instandhaltungsauftrag ausgelöst werden durch:

- Instandhaltungsplan
- Technische Abweichungen (wie Störungen oder Ausfälle)

Die Durchführung der anfallenden Arbeiten erfolgt entweder durch die eigenen technischen Mitarbeiter oder wird fremdvergeben. Im Folgenden werden zusammenfassend zwei Gruppen unterschieden:

- Kunde / Betreiber
- Hersteller / Dienstleister

Die Organisation und Festlegung der Verantwortlichen für die Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen ist abhängig von der vertraglichen Festlegung, dem Erfahrungswissen sowie von der Verfügbarkeit der notwendigen Werkzeuge und Ersatzteile.

Maßnahmen

Während ein Instandhaltungsplan die bevorstehenden Arbeiten geplanter Maßnahmen auflistet, müssen die Arbeiten für ungeplante Maßnahmen zunächst definiert werden. Grundlage hierfür ist ein technischer Befund mit den aufgenommenen Maschinenwerten und -zuständen. Prüf- und Inspektionsaufgaben zählen ebenfalls zu den Maßnahmen.

Aufgaben

Jede Maßnahme besteht aus Aufgaben, die in ihrer Gesamtheit den Umfang der Arbeiten einschließen. Um die Mitarbeiter während der Maßnahmenausführung besser anleiten zu können, werden die Aufgaben in Arbeitsfolgen unterteilt, die den notwendigen Umfang an Informationen im Einzelnen bereitstellen können. Insbesondere bei komplexen Systemen und einer hohen Informationslast ist eine Ordnungsstruktur und die Verdichtung der Inhalte auf die wichtigen Hinweise relevant [Kluw97, S. 15]. Eine Arbeitsfolge ergibt sich zunächst aus:

- Arbeitsschritten
- Reihenfolgen

Die Verdichtung der Inhalte geht einher mit der Zusammenfassung der Hinweise auf die wesentlichen Informationen:

- Beschreibungen
- Technische Angaben

Diese grundlegenden Informationen helfen dem Anwender, die Arbeitsschritte korrekt auszuführen. Eine angemessene grafische Gestaltung der Information ermöglicht es, den kognitiven Aufwand für den Operateur so gering wie möglich zu halten, sodass die textlichen Beschreibungen sehr kurz gehalten werden können. Auch die Darstellung der technischen Angaben muss sich im Kontext des aktuellen Arbeitsschrittes ergeben.

Rückmeldung und Dokumentation

Die Rückmeldung und Dokumentation von am Einsatzort aufgenommenen Informationen wird zunehmend wichtiger. So lässt eine umfassende Auflistung der Maschinenwerte und -zustände, insbesondere bei komplexen Anlagen, besser auf Fehlerursachen schließen.

4.1.2 Verknüpfung von Informationen

Für eine logische Verknüpfung der Kategorien sind diese in Abbildung 27 anhand eines *Entity-Relationship-Diagrammes* (ER-Diagrammes) nach Chen dargestellt [Chen76, S. 9 ff.].

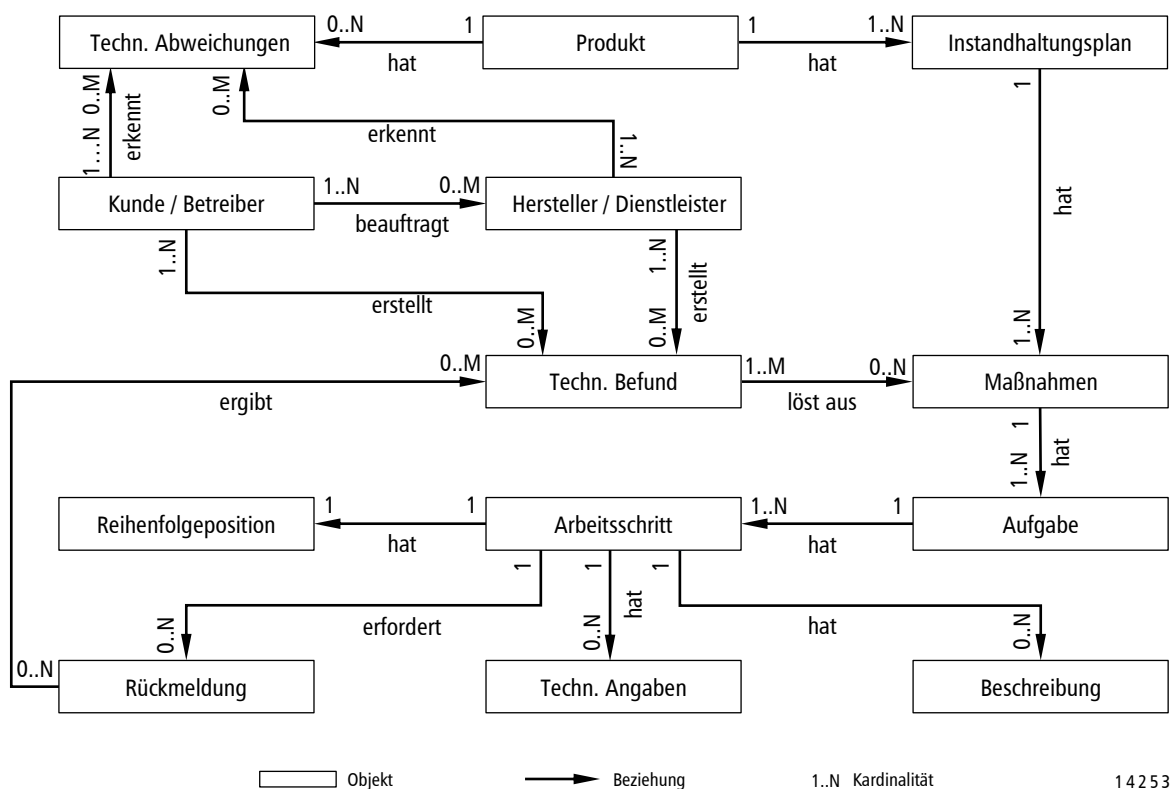


Abbildung 27: Schematische Darstellung des Datenmodells (ohne Maßnahmendokumentation) in Anlehnung an [Melu20, S. 50]

Zu jedem Produkt gehört ein Instandhaltungsplan, der die in regelmäßigen Zeitabständen durchzuführenden Maßnahmen festlegt. Ungeplante Störungen bzw. technische Abweichungen werden entweder vom Kunden oder von externen Service-dienstleistern erkannt und behoben. In beiden Fällen ist eine Zustandsanalyse zur Erstellung eines Symptombildes bzw. eines technischen Befundes als Grundlage der Maßnahmendurchführung erforderlich.

Aus dem technischen Befund werden die durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen abgeleitet, die wiederum verschiedene Wartungs- bzw. Reparaturaufgaben beschreiben.

Jede Aufgabe ergibt sich aus einer Reihenfolge einzelner Arbeitsschritte mit einer definierten Position. Die vorausgehende Zustandsanalyse folgt derselben Logik und besteht demzufolge aus verschiedenen Prüf- und Inspektionsaufgaben.

Je nach Art des Arbeitsschrittes, wie z.B. Demontagevorgang oder Messvorgang, enthält dieser verschiedene Informationsinhalte oder erfordert Werteingaben. Zusätzlich beinhalten die einzelnen Arbeitsschritte eine Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeiten und sicherheitsrelevanter Hinweise und Warnungen. Für eine korrekte Ausführung werden technische Angaben, wie z.B. das richtige Werkzeug oder Material, hinterlegt. Insbesondere für Messvorgänge und Checklisten ist die Aufnahme und Rückmeldung definierter Werte und Zustände erforderlich. Diese sind zum einen für den technischen Befund und zum anderen für die Maßnahmendokumentation notwendig.

Das Datenmodell ermöglicht es, die für die Instandhaltung erforderlichen Informationen zu strukturieren und in einer Datenbank zu speichern.

4.2 Systemaufbau

Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit ist es, sowohl die technische Redaktion als auch die Instandhaltungsprozesse durch geeignete Assistenzsysteme zu unterstützen. Die folgenden Abschnitte beschreiben den modularen Aufbau des Gesamtsystems (Abschnitt 4.2.1) und die Interaktion zwischen den wesentlichen Systemkomponenten / -modulen (Abschnitt 4.2.2).

4.2.1 Modularisierung

Ein modularer Aufbau der IT-Infrastruktur ist aus verschiedenen Gründen vorteilhaft: Insbesondere ermöglicht die Modularisierung, verfügbare Anwendungen zu integrieren und auch zukünftige Technologien einfach einzubinden.

Entscheidend für eine grundlegende Modularisierung (Strukturierung) der Systemarchitektur ist die Zerlegung des Gesamtsystems in Module (Komponenten) und die Festlegung von Schnittstellen [Pomb19, S. 131]. Die daraus folgende modulare Struktur des Softwaresystems zeigt, welche Schnittstellen und Funktionen die einzelnen Komponenten haben und wie die Komponenten miteinander interagieren (vgl. Abbildung 28).

Die beiden wichtigsten Komponenten des aufzubauenden Systems sind die Anwendung zur Erstellung der Inhalte (im Folgenden *Creator*) in der Technischen Redaktion und die Anwendung zur Visualisierung der Inhalte (im Folgenden *Visualizer*) im Instandhaltungsprozess. Eine dritte Anwendung (im Folgenden *Director*) dient der Verwaltung und Organisation der Inhalte. Je nach Hauptaufgabe (Erstellen, Visualisieren oder Verwalten) verfügen die Anwendungen jeweils über eine Benutzerschnittstelle, weshalb man diese drei Komponenten zum sog. *Frontend* [Fisc11, S. 347] des Systems zusammenfassen kann.

Die Bereitstellung der systemrelevanten Daten (Abschnitt 4.1) erfordert eine Server-Anwendung, die im Hintergrund einen Zugang zu den Daten schafft. In diesem Zusammenhang spricht man auch von einem sog. *Backend* [Fisc11, S. 89]. Zu der Server-Anwendung gehören der Speicherort für die Daten (im Folgenden *Storage Provider*) sowie eine vorgeschaltete Logik (im Folgenden *Logic Provider*) zur Konvertierung und Aufbereitung der Daten aus externen Quellen (ERP, CMS, CAD, PDM, PLM). Um den Zugriff auf die abgelegten Daten auf einen Kreis von Berechtigten beschränken zu können, hält das Gesamtsystem eine Komponente zur Datenfreigabe (im Folgenden *Identity Provider*) bereit.

4.2.2 Interaktion

Die im vorhergehenden Abschnitt genannten Komponenten und Schnittstellen sind im Folgenden anhand eines Komponentendiagramms mithilfe der *Unified Modeling Language* (UML) beschrieben [Rand16, S. 5 ff.].

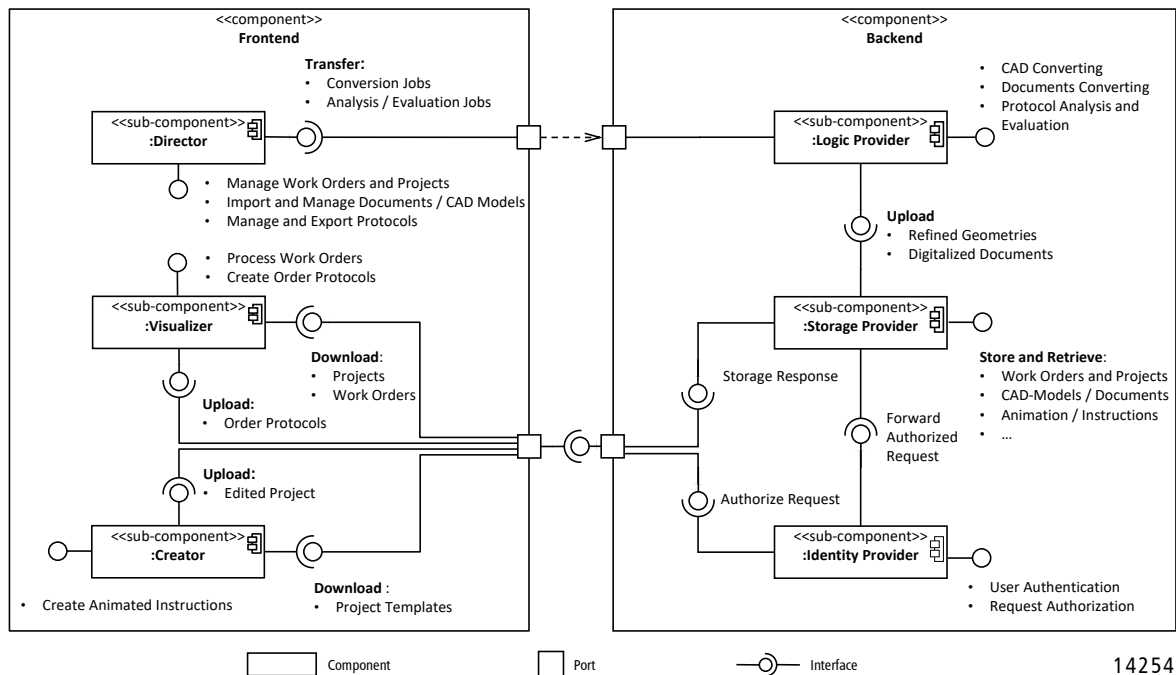


Abbildung 28: Komponentenstruktur nach [Melu20, S. 52]

Die Inhalte werden über den *Storage Provider* bereitgestellt. Dieser stellt ein dynamisches Speichermedium dar, das Zugriff auf die Projektdaten gewährt und diese an die Endgeräte des *Frontends* ausliefert. Zum Import und zur Konvertierung der CAD-Modelle sowie der Dokumente dient der *Logic Provider*, der über den *Director* gesteuert wird. Darüber hinaus bildet der *Logic Provider* die Grundlage, um weitere Services, wie z.B. die Auswertung von Befunddaten, zu ergänzen oder andere Systeme (ERP, CMS, CAD, PDM, PLM) anzubinden. Um die unterschiedlichen Zuständigkeiten und Aufgaben zu berücksichtigen, übernimmt der *Identity Provider* die Verwaltung der Nutzerrollen. Weiterhin steuert er die Authentifizierung der angefragten Zugriffsrechte für Aufträge, Projekte, Anleitungen und CAD-Modelle, sodass nur berechnete Anfragen einen Zugriff erhalten.

Das Anlegen bzw. die Übernahme von Aufträgen wird mithilfe des *Directors* durchgeführt. Damit die auftragsbezogenen Anleitungen dynamisch und interaktiv gestaltet werden können, werden über den *Director* die benötigten CAD-Modelle geladen bzw. entsprechende Referenzen zum PDM- / PLM-System hergestellt. Die Projekte dienen dafür als ordnendes Element und können produkt- bzw. produktvariantenspezifisch angelegt werden. Bestehende Anleitungen (vorliegend als .xml, .html oder .docx) können ebenfalls über den *Director* in ein Projekt geladen und dort möglichst automatisiert in das interne Datenformat konvertiert werden. Schritt-für-Schritt-Instandhaltungsanleitungen werden, ggf. aus angelegten Vorlagen, analog zu einem klassischen Redaktionssystem im *Creator* erstellt. Ggf. können dazu auch bestehende Anleitungen ergänzt werden. Nach einem Upload der digitalen Anleitungen werden diese über den *Visualizer* zusammen mit den Aufträgen abgerufen und angezeigt. Die während der Maßnahmendurchführung automatisch generierten Prozessprotokolle mit Zustands- und Wertrückmeldungen sowie mit den angelegten Befunddaten werden ebenfalls projektweise mit dem Backend synchronisiert und stehen im *Director* zur Auswertung bereit. Die Komponenten agieren im Betrieb autark und können auch ohne gegenseitige Verbindung für einen längeren Zeitraum verwendet werden, um das Offline-Arbeiten bei fehlender Datenverbindung zu ermöglichen, z. B. in der Produktionshalle eines Kunden oder an Bord eines Schiffes. Besteht eine Verbindung, werden die Projektinhalte synchronisiert und sind entsprechend in allen Komponenten verfügbar.

Entscheidend für einen produktiven Einsatz der entwickelten Softwarearchitektur sind die Benutzerschnittstelle und damit auch die Hardware für die Erstellung und Visualisierung der Inhalte.

4.3 Technologie- und Hardwareauswahl

In Abschnitt 2.3 wurden bereits neue Technologien und Hardwarelösungen zur digitalen Unterstützung von Instandhaltungsarbeiten aufgezeigt. Für einen nutzbringenden Einsatz der Technologien und Hardwarelösungen ist es entscheidend, diese entsprechend dem vorliegenden Anwendungsfall auszuwählen. Ein gängiges Verfahren zur problemorientierten Auswahl alternativer Lösungen bietet die Nutzwertanalyse [Ditt95, S. 43 ff.].

Voraussetzung für die Anwendung der Nutzwertanalyse ist die Kenntnis über den Nutzen der zu beurteilenden Alternativen, weshalb die Beurteilung durch ein Expertenteam vorgenommen werden sollte.

Entsprechend den im vorhergehenden Abschnitt 4.2 eingegrenzten Modulen für den Endanwender werden im Folgenden die geeigneten Technologien und Hardware-systeme ausgewählt. Die zu beurteilenden Kriterien ergeben sich aus den Aktivitäten an den Benutzerschnittstellen der jeweiligen Module, abgebildet in der Komponentenstruktur (vgl. Abschnitt 4.2).

Die Gegenüberstellung von potenzialträchtigen Alternativen bzw. Hardware-systemen resultiert aus einer Vorauswahl und ist entsprechend der aktuellen Markt-situation und dem technischen Status quo im Einzelfall anzupassen. Eine gute Vor-auswahl ist die Voraussetzung dafür, dass die Beurteilung der Alternativen zu einer vernünftigen Auswahl führt.

Technologieauswahl Director

Die Netzwerkanalyse für den *Director* vergleicht einen Desktop-Computer, Tablet-Computer und eine Virtual-Reality-Datenbrille. Die Bewertung der Hardware-eignung erfolgt mithilfe einer siebenstufigen Skala von -3 (sehr schlecht) bis +3 (sehr gut).

| Projektorganisation - Director | | | |
|---------------------------------|-----------|-------------|--------------|
| Aktivitäten | Hardware | | |
| | Desktop | Tablet | VR-Brille |
| Auftrags- und Projektverwaltung | +3 | +2 | 0 |
| Datenkonvertierung | +3 | +2 | 0 |
| Protokollauswertung | +3 | +3 | +1 |
| Summe | +3 | 2,33 | +0,33 |

14255

Abbildung 29: Technologieauswahl Director

Vergleicht man die Punktbewertung der drei Hardwarealternativen, so fällt die Auswahl auf einen Desktop-PC. Während ein Tablet-PC mittlerweile für nahezu alle Aufgaben genutzt werden kann, die traditionell am Desktop-PC erledigt werden, unterscheiden sich die Geräte jedoch immer noch in der Rechenleistung. So gelingt bspw. die Datenkonvertierung am Desktop u. a. aufgrund des höheren Speicherplatzes besser. Darüber hinaus sind die Büroarbeitsplätze i. d. R. mit einem Desktop-PC ausgerüstet. Es liegt daher nahe, die Hardware auch für diese Aufgabe zu nutzen, auch um unnötige Neuinvestitionen zu vermeiden.

Technologieauswahl Creator

| Redaktionssystem – Creator | | | |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Aktivitäten | Hardware | | |
| | Desktop | Tablet | VR-Brille |
| Anleitungen anlegen | +3 | +2 | +2 |
| Arbeitsschritte bearbeiten | +3 | +2 | +2 |
| Animationen erstellen | +1 | -2 | +3 |
| Summe | +2,33 | +0,67 | +2,33 |

14256

Abbildung 30: Technologieauswahl Creator

Für die Aufgaben der Technischen Redaktion, insbesondere für das Erstellen von Anleitungen und Animationen, stellen sich zwei potenzialträchtige Alternativen heraus: Während am Desktop-PC klassische Redaktionsaufgaben, wie das Anlegen und Editieren von Anleitungen, einfacher gelingen, erweist sich die Erstellung von Animationen mithilfe einer VR-Brille einfacher [Voge18, S. 1 ff.]. Ein besonders hohes Einsatzpotenzial verspricht eine ergänzende Anwendung beider Technologien.

Technologieauswahl Visualizer

Die Nutzwertanalyse für den *Visualizer* vergleicht einen Tablet-Computer, ein Smartphone und eine Augmented-Reality-Datenbrille.

| Anzeigesystem - Visualizer | | | |
|----------------------------|-----------|--------------|--------------|
| Aktivitäten | Hardware | | |
| | Tablet | Smartphone | AR-Brille |
| Anleitungen öffnen | +3 | +2 | +2 |
| Informationen ablesen | +3 | +1 | +1 |
| Werte protokollieren | +3 | +2 | -2 |
| Summe | +3 | +1,67 | +0,43 |

14257

Abbildung 31: Technologieauswahl Visualizer

Trotz der so häufig beschriebenen Potenziale von AR-Brillen sind diese zum gegenwärtigen Zeitpunkt technisch noch nicht so ausgereift, dass sie den Einsatz von Tablet-PCs ersetzen können – trotz des großen Vorteils, die Hände beim Arbeiten frei zu haben. Sowohl gegenüber der AR-Brille als auch gegenüber dem Smartphone können Tablet-PCs aufgrund ihrer Bildschirmgröße und Auflösung mehr Informationen anschaulicher darstellen. Auch die Wertrückmeldung gelingt mit den Tablet-PCs, aufgrund der einfacheren Bedienung, zum heutigen Stand einfacher.

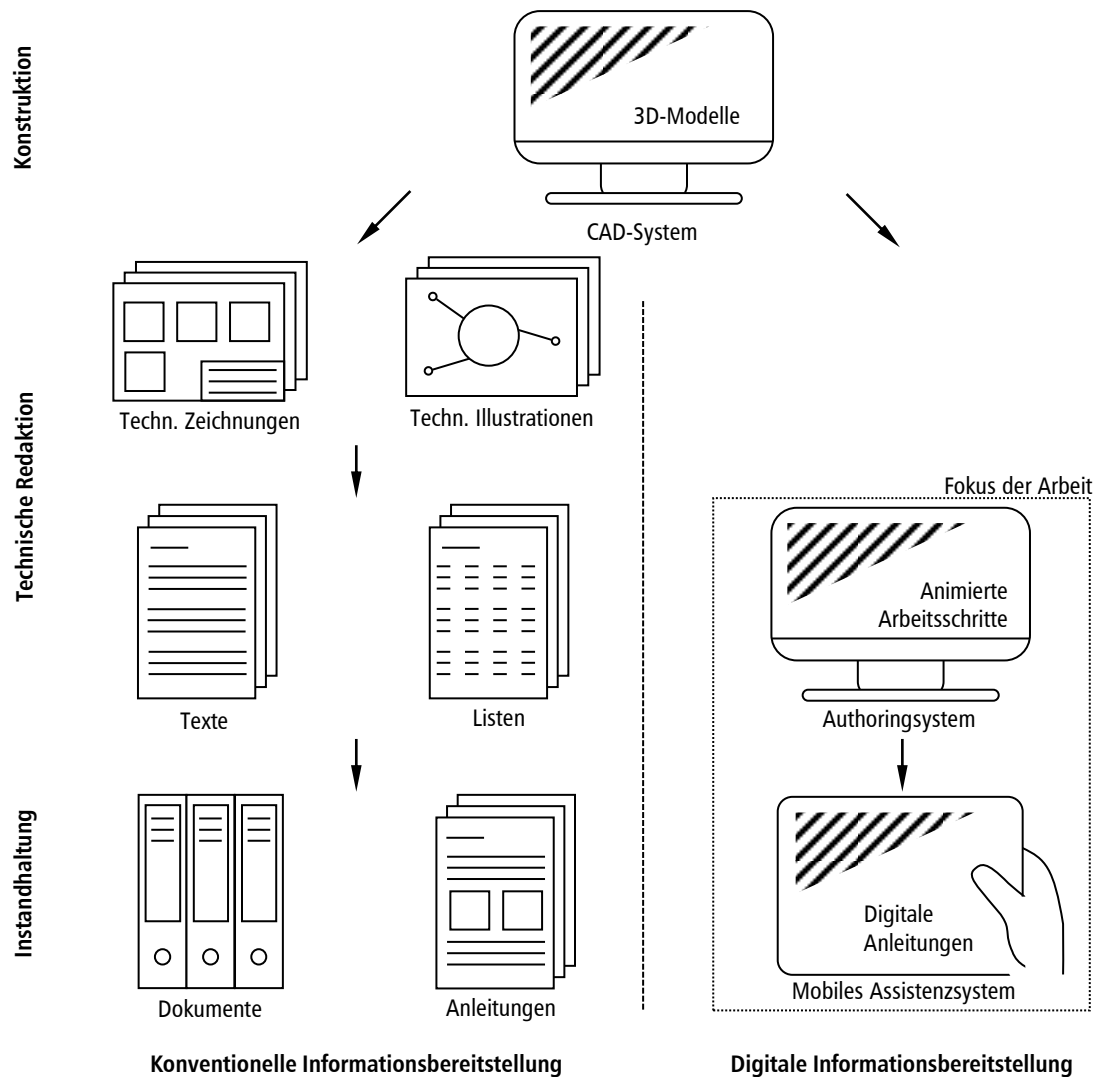
5 Informationsmanagement für digitale Anleitungen

Das vorliegende Kapitel zeigt ein Konzept für das Informationsmanagement digitaler Anleitungen auf einem mobilen Instandhaltungssystem. Es beginnt mit einem Überblick über das Gesamtkonzept und beschreibt anschließend dessen Teilaspekte.

5.1 Überblick über das Konzept

Die Bereitstellung von Instandhaltungsinformationen in Form von ausgedruckten Anleitungen oder PDF-Dateien ist mit unterschiedlichen Aufwänden verbunden (vgl. Abschnitt 3.1 und Abschnitt 3.2). Dem gegenüber steht die digitale Informationsbereitstellung mit mobilen Assistenzsystemen.

Abbildung 32 zeigt die prozedurale Gegenüberstellung der papierorientierten und der digitalen Informationsbereitstellung.



14258

Abbildung 32: Gegenüberstellung der Bereitstellung von Instandhaltungsinformationen in Papierform und auf mobilen Assistenzsystemen in Anlehnung an [Lödd19, S. 4]

Gegenüber der konventionellen Informationsbereitstellung (links) greift die digitale Informationsbereitstellung (rechts) direkt auf 3D-Modelle aus der Konstruktion zurück und erzeugt daraus animierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen, die auf mobilen Assistenzsystemen für den Endanwender visualisiert werden. Die aufwändige Ableitung von 2D-Zeichnungen entfällt und die Nachbearbeitung von isometrischen Ansichten und die Erstellung von Handlungstexten kann vereinfacht werden. Dies gilt insbesondere, wenn es gelingt, die animierten Schritt-für-Schritt-Anleitungen mithilfe des Authoringssystems (teil-)automatisiert zu generieren und die Technischen Redakteure bei der digitalen Inhaltserstellung auch mithilfe von virtuellen Technologien zu unterstützen. Gleichzeitig ist es wichtig, sowohl das Authoringsystem als auch das mobile Assistenzsystem in ein durchgängiges und allgemeingültiges Gesamtsystem aus Modulen mit festgelegter Funktionalität (vgl. Abschnitt 4.2) zu integrieren, um ein effizientes Informationsmanagement zu ermöglichen.

Das vorliegende Kapitel erarbeitet ein Konzept für das Informationsmanagement für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem sowie für die damit verbundenen Benutzerfunktionen und -schnittstellen. Das Konzept unterteilt sich, entsprechend den in Abschnitt 4.2 ausgearbeiteten Kernkomponenten des Gesamtsystems, in die Teilaspekte Erstellung (Abschnitt 5.2), Visualisierung (Abschnitt 5.3) und Verwaltung (Abschnitt 5.4) von Inhalten für eine digitale Informationsbereitstellung in der Instandhaltung.

Abbildung 33 gibt einen Überblick über den Aufbau des Konzeptes und dessen Teilaspekte sowie über die Zuordnung der Kapitelabschnitte.

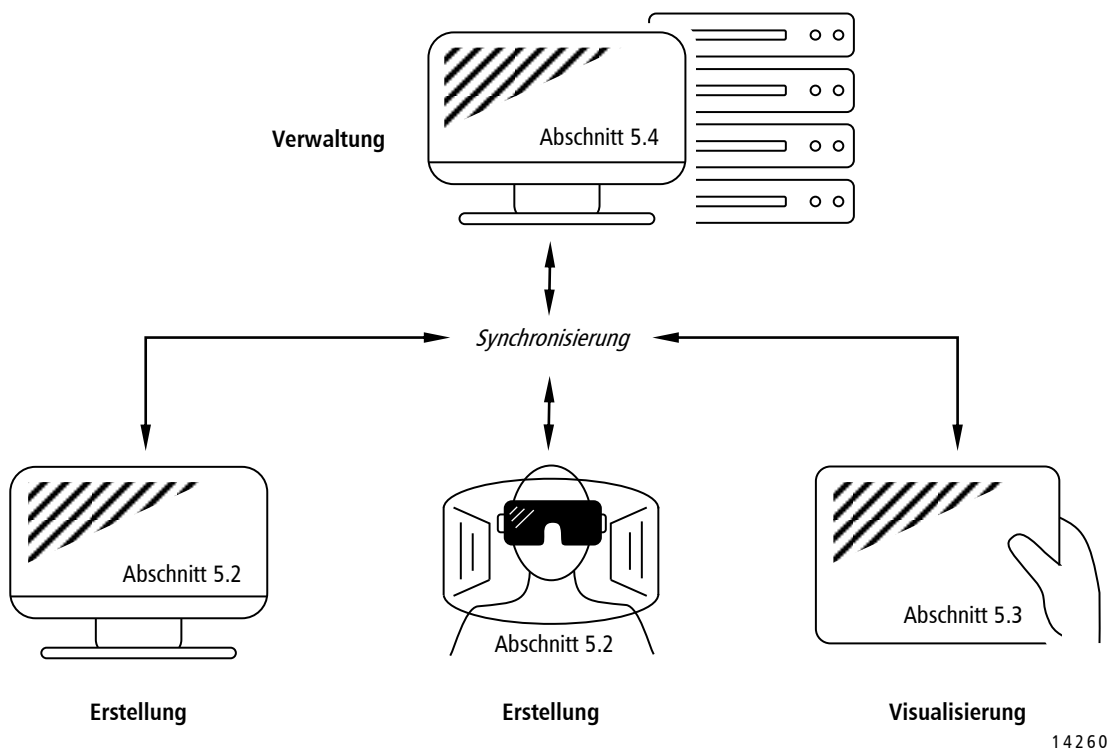


Abbildung 33: Überblick über den Aufbau des Konzeptes mit den wesentlichen Systembestandteilen zur Verwaltung, Erstellung und Visualisierung von digitalen Instandhaltungsinformationen

Im Verbund setzen die Teilaspekte die Anforderungen an eine verbesserte Informationsbereitstellung um (vgl. Abschnitt 3.5). Die Desktop-Anwendung und der angebundene Server gewährleisten die Verwaltung bzw. Organisation der Informationsinhalte (Anforderungen O1 bis O2). Die Redaktionsanwendung (aufrufbar über einen Desktop-PC oder eine VR-Brille) ermöglicht eine einfache Planung und Erstellung der ggf. animierten Schritt-für-Schritt-Anleitungen (Anforderung E1 bis E3). Das mobile Assistenzsystem (umgesetzt auf einem Tablet-PC) zeigt passend zum Arbeitsinhalt die Informationsinhalte an und vereinfacht so die Arbeit der Endanwender (Anforderung V1). Eine anschauliche Darstellung der zum Teil animierten Anleitungen vermeidet Ausführungsfehler (Anforderungen V2).

5.2 Erstellung digitaler Anleitungen

Für die Erstellung der Informationsinhalte sind zwei Ziele wesentlich:

- Qualität der Inhalte: Die Inhalte sollen vollständig sowie richtig sein und es dem Instandhalter ermöglichen, die Instandhaltung fehlerfrei durchzuführen
- Aufwand für die Informationserstellung: Ziel ist es, die Inhalte mit möglichst geringem Aufwand erstellen zu können

Der vorliegende Abschnitt stellt ein Konzept zur aufwandsarmen Inhaltserstellung vor. Das zugrundeliegende System (*Creator*) zur Inhaltserstellung ist in zwei Anwendungen untergliedert (Abbildung 34):

- Eine Desktop-Anwendung (*Desktop Creator*) unterstützt den Nutzer auf eine neue Weise, die Inhalte vom Schreibtisch aus anzulegen (Abschnitt 5.2.1 bis 5.2.4).
- Eine mobile VR-Brille (*VR Creator*) erweitert das System um eine virtuelle Arbeitsumgebung und ermöglicht dem Nutzer eine bessere Planung und Zusammenstellung der Inhalte in Virtual Reality (Abschnitt 5.2.5 bis 5.2.10). Der Nutzer erhält damit die Möglichkeit, die Inhalte direkt am 3D-Modell des Produktes digital zu planen und anzulegen. Manuelle Mitschriften und Handskizzen können dadurch vermieden werden.

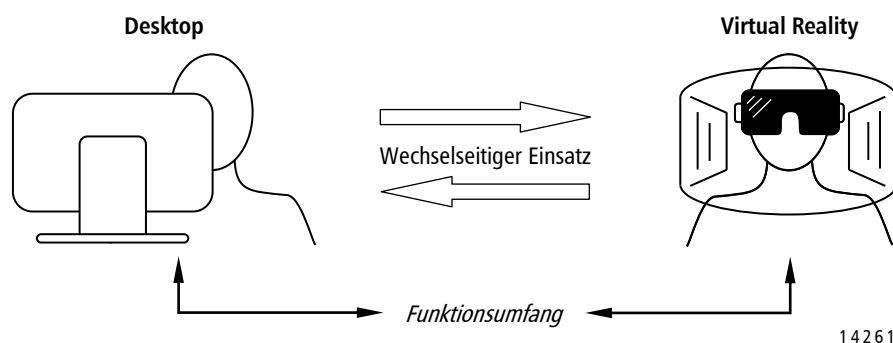


Abbildung 34: Überblick über die zwei Anwendungen zur Erstellung der digitalen Anleitungen am Desktop (links) und in Virtual Reality (rechts)

Zusammen setzen die beiden Anwendungen *Desktop Creator* und *VR Creator* die Anforderungen einer aufwandsarmen Erstellung der Inhalte um. Der wechselseitige Einsatz der beiden Anwendungen und die technologiespezifischen Vorteile ermöglichen eine verbesserte Planung der Inhalte sowie die Erstellung der digitalen Anleitungen.

Für beide Anwendungen ist die Funktionalität zu erarbeiten. Dabei sind insbesondere die Nutzerbedürfnisse und -anforderungen zu berücksichtigen. Die nachfolgenden Abschnitte zeigen anhand ausgewählter Beispiele die Funktionalität, die ausgearbeiteten Konzepte und die technischen Lösungsansätze für die beiden Anwendungen auf.

5.2.1 Arbeitsschritte

Die Erstellung neuer Anleitungen oder Abschnitte setzt voraus, dass der Anwender die Möglichkeit hat, neue Arbeitsschritte anzulegen und zu bearbeiten. Abbildung 35 zeigt den Ablauf für die Neuerstellung von Arbeitsschritten und führt die Konvention der *Business Process Model and Notation* (BPMN) ein.

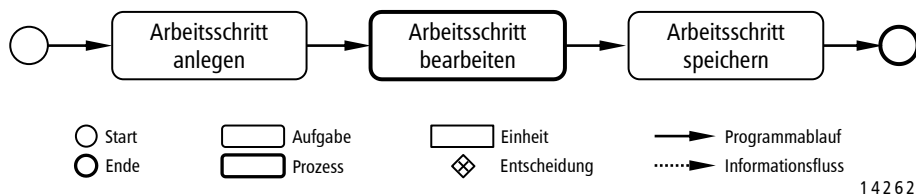


Abbildung 35: Ablauf für das Anlegen neuer Arbeitsschritte

Entscheidend für das Anlegen neuer Arbeitsschritte ist die Vollständigkeit der Informationen, die mit dem Arbeitsschritt verknüpft werden (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Ergänzung um Zusatzinformationen ist ausschlaggebend für die korrekte und sichere Umsetzung der späteren Instandhaltungsaufgaben. Je nach Produkt und Anwendungsfall sind die Inhalte der Zusatzinformationen festzulegen und zu prüfen, bevor für die technische Umsetzung die entsprechenden Eingabemasken und Vorlagen entwickelt werden. Losgelöst von den unternehmensspezifischen Zusatzinformationen und Ergänzungen zeigt Abbildung 36 den Ablauf für das Bearbeiten von Arbeitsschritten unter Berücksichtigung der grundlegenden Informationen.

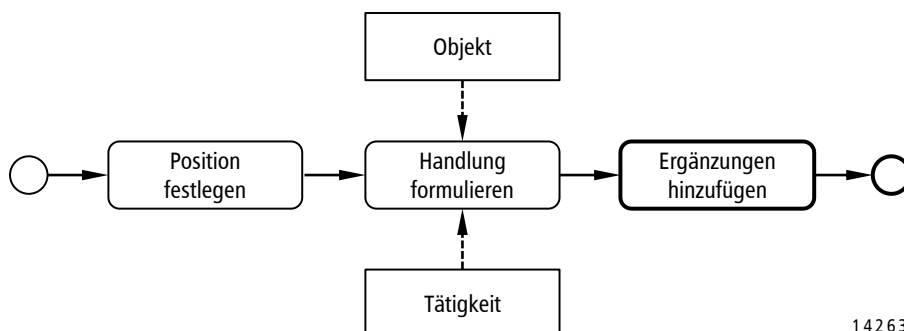


Abbildung 36: Ablauf für das Bearbeiten von Arbeitsschritten

Position festlegen

Über die Position legt der Anwender die Reihenfolge fest, in der die einzelnen Arbeitsschritte durchgeführt werden sollen.

Handlungen formulieren

Für jeden Arbeitsschritt ist zu beschreiben, wie die Aufgabe konkret durchgeführt werden soll. Ziel ist es, die Handlungen so einfach und kurz wie möglich zu formulieren und dabei konsistente Fachbegriffen zu verwenden [DIN EN 82079-1, S. 13]. Dazu sind das Instandhaltungsobjekt sowie die durchzuführende Tätigkeit zu beschreiben. Für die Erstellung der Arbeitspläne ist sicherzustellen, dass die notwendigen Hilfsmittel gegeben sind, um alle Informationen einheitlich und mit geringem Aufwand anlegen zu können.

Ergänzungen hinzufügen

Je nach Art der Maßnahme (vgl. Abschnitt 2.1.1) erfordert die Beschreibung der Handlung die Ergänzung von aufgabenspezifischen Zusatzinformationen, die u. a. sicherheitsrelevante, organisatorische oder technische Aspekte berücksichtigen.

Um die Aufwände sowohl bei der Verknüpfung von Informationen als auch bei der Formulierung der Handlungen so gering wie möglich zu gestalten (Anforderung E2), stellt sich die Frage, welches Konzept dafür geeignet ist. Abbildung 37 skizziert das Konzept für eine Benutzerschnittstelle zur Erstellung von Arbeitsplänen für Instandhaltungsanleitungen.

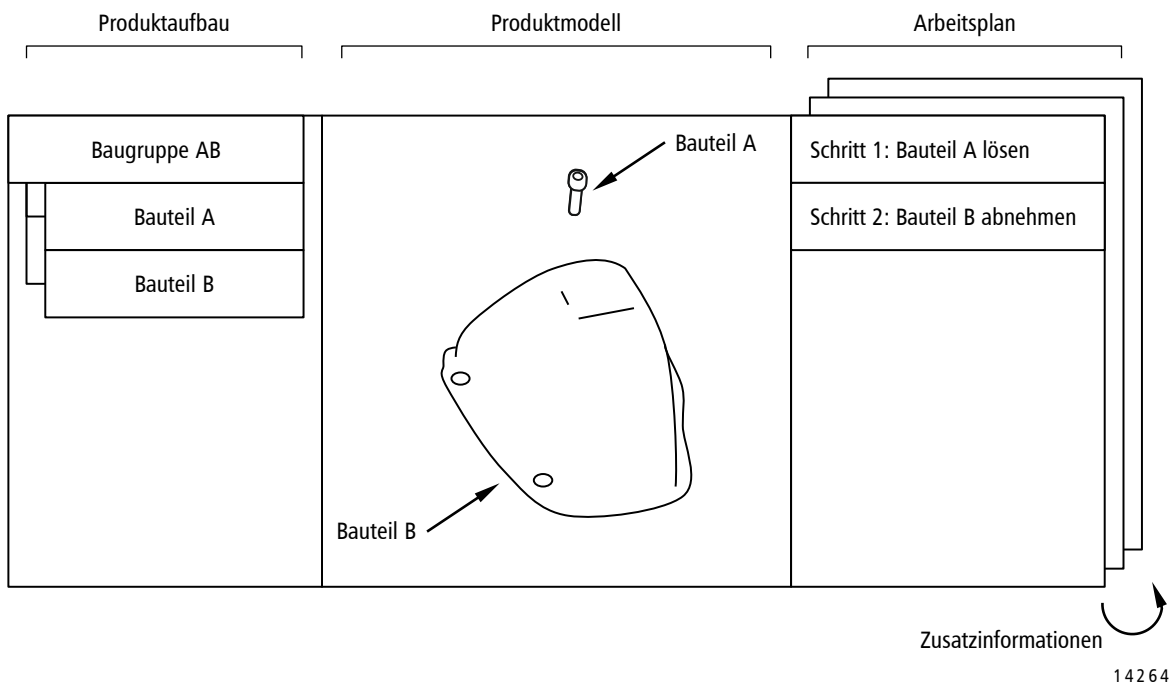


Abbildung 37: Konzept für eine Benutzerschnittstelle zur Erstellung von Arbeitsplänen für Instandhaltungsanleitungen mit dem Produktaufbau (links), dem Produktmodell (mittig) und den Arbeitsschritten (rechts)

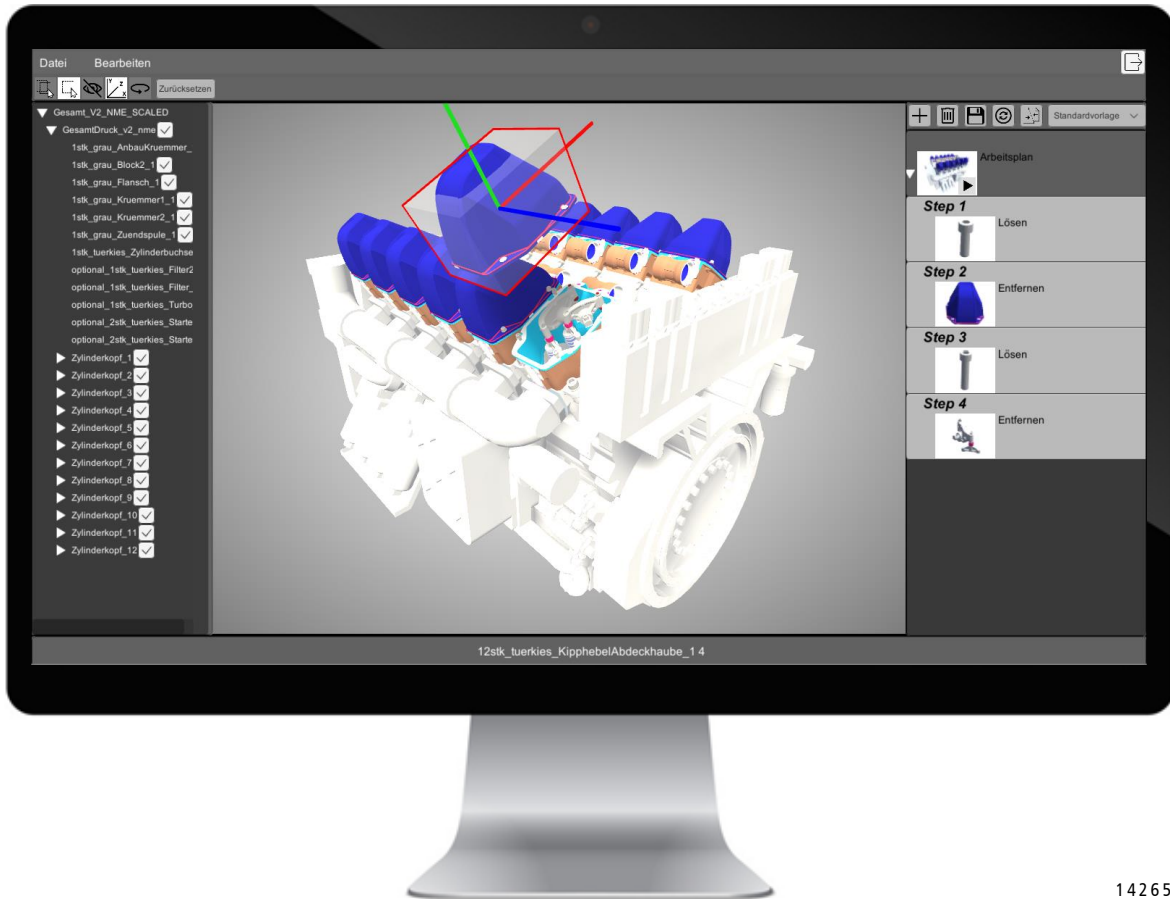
Die Benutzerschnittstelle für die Erstellung von Arbeitsplänen für Instandhaltungsanleitungen ist aufgeteilt in den Produktaufbau (links), das Produktmodell (mittig) und den Arbeitsplan (rechts).

Um einen Arbeitsschritt zu erzeugen, wählt der technische Redakteur ein Bauteil aus und legt es im Arbeitsplan ab. Ggf. ergänzt er Zusatzinformationen.

Das Produktmodell unterstützt den Anwender bei der einfachen Zuordnung von Geometrien zu den entsprechenden Handlungen – damit diese für den späteren Endanwender auf dem mobilen Anzeigesystem gleichzeitig wiedergegeben werden können. Die Verknüpfung von Geometrien der CAD-Modelle aus der Konstruktion mit den Anleitungen aus der Technischen Redaktion knüpft an das Konzept eines durchgängigen Informationsflusses an (vgl. Abschnitt 4.2.2) und ermöglicht es dem Benutzer, Geometrien auf Grundlage des Modells einfach auszuwählen und dem Arbeitsschritt zuzuordnen – auch bei der nachträglichen Digitalisierung der Papieranleitungen und bei der Verknüpfung mit den fehlenden Geometrien (vgl. Abschnitt 5.4.4).

Der Produktaufbau veranschaulicht die Hierarchie der Baugruppen und Bauteile und ermöglicht nach der Auswahl eine direkte Zuordnung von zusammengehörigen Bauteilen, die sonst in dem Produktmodell durch mehrere Vorgänge ausgewählt und gruppiert werden müssten. Durch die hinterlegten Bezeichnungen der Baugruppen und Bauteile im CAD-Modell kann die Beschreibung der Objekte direkt aus den Einträgen übernommen werden. Das spart Zeit bei der Beschreibung der betroffenen Baugruppen und Bauteile (vgl. Abschnitt 3.1.2), erfordert jedoch eine einheitliche und wiederverwendbare Bezeichnung der Baugruppen und Bauteile während der Erstellung der CAD-Daten.

Da die grundlegenden Arbeiten bei der Erstellung der Anleitungen vorrangig Zuordnungsaufgaben sind, wurde für die technische Umsetzung des *Creators* zunächst eine Desktop-Anwendung entwickelt. Unter Berücksichtigung des zuvor erarbeiteten Konzeptes für die Benutzerschnittstelle zur Erstellung von Instandhaltungsanleitungen zeigt Abbildung 38 die Benutzeroberfläche der technischen Umsetzung des *Desktop Creators*.



14265

Abbildung 38: Benutzeroberfläche der technischen Umsetzung des Desktop Creators in Anlehnung an [Melu19a, S. 37]

Über die Benutzeroberfläche des *Desktop Creators* lassen sich die Bauteile in dem Modell einfach per Mausklick auswählen und einem Arbeitsschritt zuordnen – auch bei der Nachbearbeitung konvertierter Anleitungen. Auch die Reihenfolge der Arbeitsschritte kann mithilfe einer intuitiven Drag-and-Drop-Funktionalität bei Bedarf nachträglich angepasst werden. Über einen Doppelklick auf einen ausgewählten Arbeitsschritt kann dieser um aufgabentypische Zusatzinformationen erweitert werden.

5.2.2 Zusatzinformationen

Ziel der Verknüpfung von Zusatzinformationen ist es, diese Informationen einem Arbeitsschritt zuzuordnen und mit dem Instandhaltungsablauf automatisch einzublenden. Dadurch verringert sich zum einen die Gefahr, dass wichtige Informationen übersehen werden. Zum anderen reduziert sich der Suchaufwand für den Mitarbeiter in der Instandhaltung. Zu den ergänzenden Inhalten eines Arbeitsschrittes gehören:

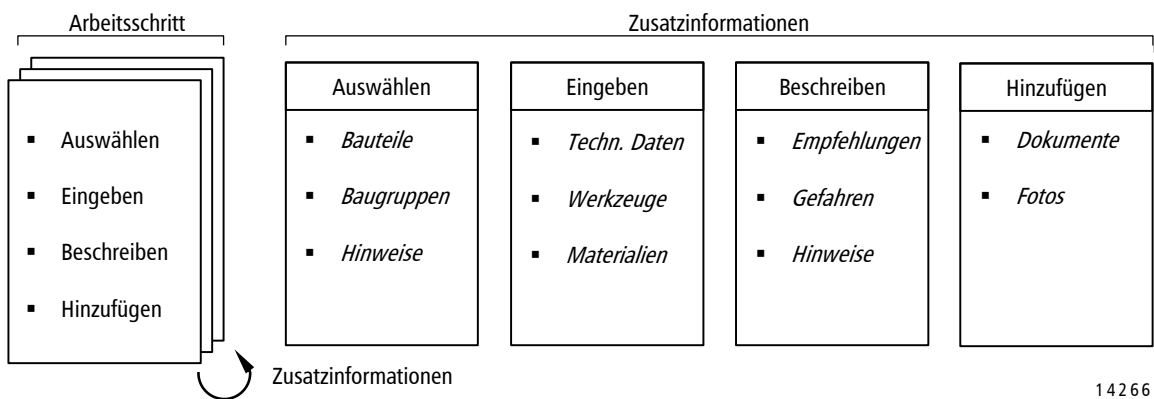
- Gefahrenmeldungen und Sicherheitshinweise
- Technische Hinweise und Empfehlungen
- Werkzeuge und Hilfsmittel

- Verbrauchsmaterialien
- Technische Daten
- Zuliefererunterlagen

Im Zuge der digitalen Informationsbereitstellung können noch zwei weitere Gruppen von erweiterten Zusatzinformationen zum Produkt (vgl. Abschnitt 5.2.3) ange-merkt werden:

- CAD-Modelle
- Animationen

Der Umfang der Zusatzinformationen richtet sich nach gesetzlichen Richtlinien und Vorgaben sowie nach den Bedürfnissen der späteren Endanwender. Die Aufwände für die Erstellung der Texte und Verweise sollen so gering wie möglich sein (Anforderung E2). Der folgende Ansatz (Abbildung 39) zeigt, in Anlehnung an das Konzept für die Benutzerschnittstelle zur Erstellung von Arbeitsplänen aus dem vorhergehenden Abschnitt 5.2.1, wie angelegte Arbeitsschritte durch einfache Vorgänge um Zusatzinformationen erweitert werden können.



14266

Abbildung 39: Konzept und Vorgänge zur Verknüpfung von Zusatzinformationen für die Erstellung von Arbeitsplänen für Instandhaltungsanleitungen

Die Vorgänge zur Erweiterung des Informationsumfanges eines Arbeitsschrittes können unterteilt werden in Auswählen, Eingeben, Beschreiben und Hinzufügen. Die Verknüpfung von Zusatzinformationen mit dem ausgewählten Arbeitsschritt ermöglicht dem Anwender eine systematische Arbeitsweise bei der Erstellung der Inhalte, was auch die Vollständigkeit der Inhalte fördert.

Vorlagen und Eingabemasken unterstützen den Anwender dabei, die Inhalte direkt auszuwählen oder hinzuzufügen sowie gezielt einzugeben oder zu beschreiben.

Bei einer anwenderfreundlichen Gestaltung der Benutzeroberfläche gelangt der Anwender intuitiv in das richtige Untermenü, in dem er die Zusatzinformationen anlegen kann. In der realisierten Anwendung gelangt der Anwender mit einem Doppelklick auf den Arbeitsschritt im Arbeitsplan (vgl. Abbildung 38 rechts) in ein Unterfenster, in dem er Zusatzinformationen aus unterschiedlichen Gruppen, wie z. B. Hinweise, auswählen kann.

Zur vollständigen Abbildung der Hinweise sind Kategorien, Überschriften und Beschreibungen anzugeben. Die Festlegung der Kategorien erfolgt je nach Produkt und Anwendungsfall. Typische Beispiele für die Hinweis-Kategorien sind Gefahren, Warnungen oder Empfehlungen. Mithilfe des in Abschnitt 5.4.4 vorgestellten Konzepts zur Konvertierung bestehender Anleitungen können Kategorien, Überschriften und Beschreibungen übernommen und bei Bedarf angepasst werden.

Abbildung B im Anhang zeigt die Erweiterung der Benutzeroberfläche des *Desktop Creators* zur Erstellung und Verknüpfung von Zusatzinformationen für die Beispiele Hinweise, Materialien, Dokumente sowie Protokollvorlagen.

5.2.3 Animationen

Animationen der auszuführenden Aufgaben veranschaulichen die auszuführenden Arbeitsschritte. Sie ermöglichen es häufig, den hohen Aufwand für die Formulierung von langen Handlungstexten zu vermeiden (vgl. Abschnitt 3.1.2).

Für die die Erstellung von animierten Anleitungen lassen sich folgende Kategorien unterscheiden [Melu18, S. 182]:

- Szenenanimationen
- Effektanimationen
- Bewegungsanimationen

Szenenanimationen veranschaulichen einen erforderlichen Wechsel der Betrachtungsposition auf das Objekt. Die Ausrichtung der virtuellen Kamera führt den späteren Endanwender durch die Szene der Arbeitsfolge. Für Montagevorgänge im Schiffbau präsentiert Halata ein Vorgehen für eine Szenenanimation mithilfe eines sog. Flugmodus [Hala18, S. 103].

Effektanimationen heben Objekte in Verbindung mit dem aktuellen Arbeitsschritt farblich hervor (sog. *Highlighting*). Dadurch lässt sich z. B. ein einzelnes Bauteil innerhalb einer ganzen Baugruppe schneller finden und der Handlung aus dem Arbeitsschritt zuordnen. Die leicht zu erstellenden Effektanimationen können aufwändige Verweise auf Bauteile in technischen Zeichnungen oder Illustrationen mithilfe von Positionsnummern und Tabelleneinträgen (vgl. Abschnitt 3.1) ersetzen.

Bewegungsanimationen umfassen Objektverschiebungen entlang eines definierten Pfades sowie Rotationen. Bewegungsanimationen visualisieren De- und Montagevorgänge innerhalb der Arbeitsschritte, indem sie die sequenziellen Bewegungen der Bauteile oder Baugruppen visualisiert darstellen.

Während die Szenen- und Effektanimationen einmalig im System angepasst und die Einstellungen fortan für die nachfolgenden Anleitungen gespeichert werden können, müssen Bewegungsanimationen für jeden Arbeitsschritt der Anleitung zunächst neu erstellt werden. Abbildung 40 zeigt den Ablauf zur Erstellung von Bewegungsanimationen.

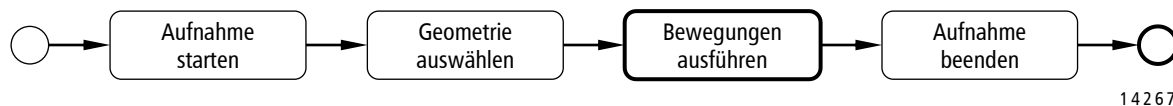


Abbildung 40: Ablauf für die Erstellung von Animationen zur Abbildung von Geometriebewegungen in digitalen Arbeitsplänen

Die Aufnahme der Bewegung erfordert zunächst die Zuordnung einer Geometrie. Die Geometriezuordnung erfolgt i. d. R. bereits beim Anlegen des Arbeitsschrittes (vgl. Abschnitt 5.2.1). Für die Eingrenzung der Bewegung ist die Festlegung eines Start- und eines Endpunktes notwendig. Für eine einfache Umsetzung der notwendigen Schritte durch den Anwender veranschaulicht Abbildung C im Anhang die technische Anpassung der Benutzeroberfläche des *Desktop Creators* zur Erstellung von Animationen. Abbildung 41 zeigt den zugrundeliegenden Ablauf zur Aufnahme der Bewegungen mithilfe der Verschiebung und Drehung der Geometrien im Detail.

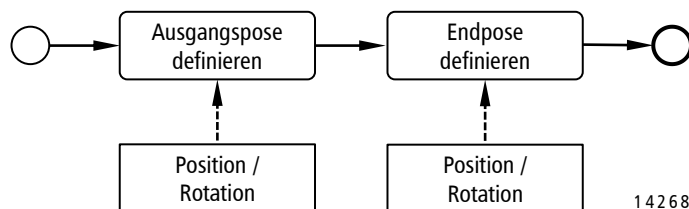


Abbildung 41: Ablauf zur Aufnahme der Bewegungsanimationen

Die Animation der Bewegung einer Geometrie setzt sich zusammen aus der zeitlichen Änderung der Geometrieposition und -ausrichtung im Raum. Mit der Definition einer Ausgangs- und Endpose kann eine Geometriebewegung und -drehung animiert werden. Die Abfolge mehrerer Posen im Raum führt zu einem Animationspfad.

5.2.4 Automatisierung

Die Erstellung neuer Anleitungen erfordert Kenntnisse über den Aufbau der Produkte und über die De- und Montage ihrer Bauteile und Baugruppen. Entscheidend für die Vorbereitung der Anleitungen ist zunächst die Festlegung einer geeigneten Reihenfolge für den Ausbau der Teile. Dafür studieren die Mitarbeiter im konventionellen Prozess technische Zeichnungen und CAD-Modelle aus der Konstruktion. Häufig kann die Ausbaureihenfolge nicht sofort erkannt werden. Bauteile, die während der Reihenfolgefestlegung vergessen werden, verursachen in der Illustrations- und Texterstellung Nacharbeit. Ein *Automatischer Demontageassistent* zur Unterstützung der Mitarbeiter bei der Planung sowie der Erstellung der (Demontage-)Arbeitsschritte würde sowohl die zeitlichen Aufwände als auch die Nacharbeiten reduzieren.

Für die automatische Generierung von Arbeitsschritten für De- und Montageanleitungen zeigt Meyer mit einer im Rahmen der Promotion betreuten Masterarbeit unterschiedliche Lösungsansätze [Mey20, S. 42 ff.]. Abbildung 42 stellt den Ablauf für die automatisierte Darstellung von Arbeitsschritten dar.

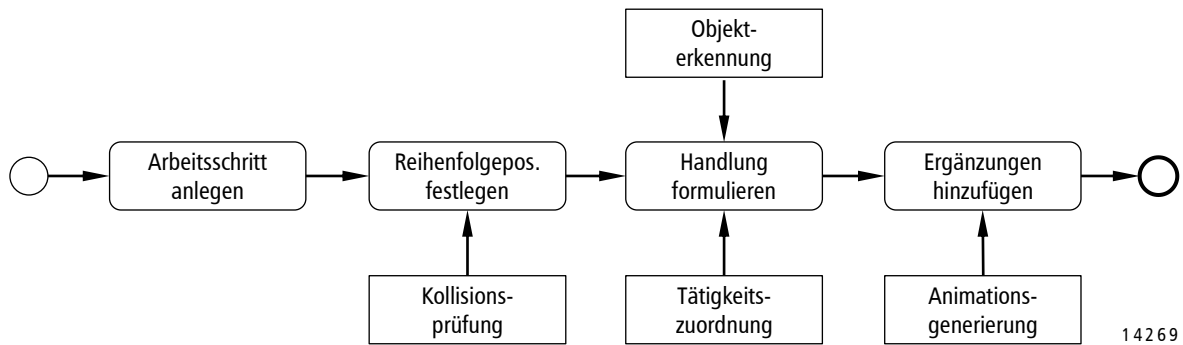


Abbildung 42: Zuordnung von Automatisierungsansätzen zum Ablauf für die Erstellung von Arbeitsschritten für Instandhaltungsanleitungen

Wesentliche Bestandteile des Ablaufes sind die Kollisionsprüfung zur Festlegung der Demontagereihenfolge sowie die Objekterkennung und Tätigkeitszuordnungen zur Beschreibung der Handhabung. Letzter Schritt ist die Animationsgenerierung, die einem Arbeitsschritt als Ergänzung angehängt wird.

Die nachfolgenden Abschnitte stellen die Teillösungen im Detail vor.

Kollisionsprüfung

3D-CAD-Modelle visualisieren den zusammengebauten Endzustand eines Produktes. Entscheidend für die Darstellung der Arbeitsschritte in den Anleitungen ist jedoch zunächst die Festlegung der Reihenfolge der Demontageschritte zum Ziel-Bauteil, das im Zuge der Instandhaltungsmaßnahme z. B. repariert oder ausgetauscht werden muss.

Um die Reihenfolge der vorgelagerten Demontageschritte festlegen zu können, muss vorab geprüft werden, welche Teile frei liegen und entfernt werden müssen, bevor andere Bauteile folgen können. Abbildung 43 zeigt den Ablauf für die iterative Demontagereihenfolgebildung.

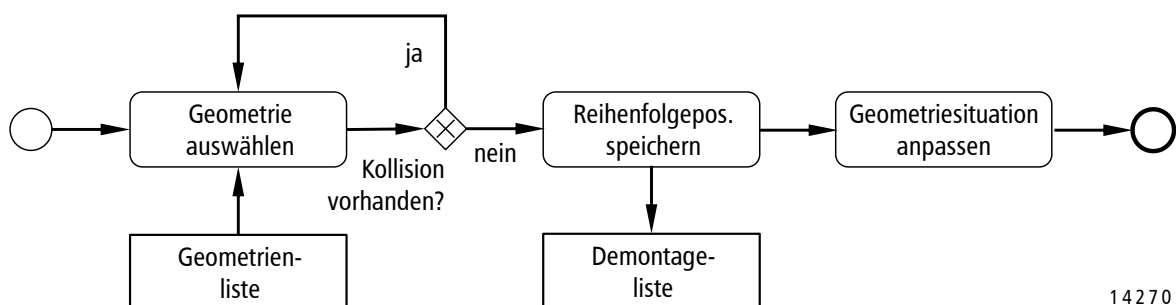


Abbildung 43: Ablauf für die iterative Demontagereihenfolgebildung

Für die Ermittlung der Reihenfolge muss zunächst eine Liste mit den an der Demontage beteiligten Geometrien zusammengestellt werden. Die Liste wird zu Beginn des Programmprozesses abgelegt und dient als Datengrundlage für die iterative Kollisionsprüfung. Dafür werden nacheinander alle Geometrien aus der Liste ausgewählt und auf Kollisionen geprüft (automatisch durch das Programmverfahren). Erst

wenn eine ausgewählte Geometrie nicht kollidiert, wird die Reihenfolgeposition gespeichert und die Geometriesituation der gesamten Baugruppe angepasst, um weitere freie Teile zu prüfen. Der Vorgang läuft so lange, bis alle Geometrien eine Reihenfolgeposition erhalten. Die zum anschließenden Zusammenbau erforderliche Montagesequenz ergibt sich aus der umgedrehten Reihenfolge der Demontageschritte.

Für die Prüfung vorhandener Kollisionen existieren unterschiedliche Verfahren [Bric07, S. 64 ff.][Wint16, S. 27 ff.][Rafi17, S. 86 ff.][Meye20, S. 34 ff.]. Für die Auswahl eines gezielten Vorgehens sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Vorbereitungsaufwand der Daten
- Rechenaufwand für die Kollisionsprüfung

Alle oben genannten Verfahren nutzen das sog. *Raycasting* zur Erkennung und Überprüfung freier Pfade. Das Verfahren erzeugt eine Gerade von einem Punkt aus in eine definierte Richtung des Raumes. Es überprüft, ob sich auf der Geraden weitere Objekte befinden, die zu einer Kollision führen. Raycast-Verfahren werden u. a. in der Entwicklung von Computerspielen eingesetzt, sodass Entwicklungsumgebungen, wie z. B. *Unity*, bereits implementierte Lösungen für das Verfahren bereitstellen [Unity3D].

Entscheidend für den Einsatz des Raycast-Verfahrens ist die Auswahl der zu prüfenden Richtungen: Winter et al. nutzen für die Festlegung der zu prüfenden Richtungen die lokalen und globalen Achsen sowie die funktionalen Achsen der Geometrien [Wint16, S. 30]. Meyer erweitert die Testrichtungen um die Normalenvektoren an den Eckpunkten des Polygonnetzes der Geometrie [Meye20, S. 36]. Die Auswahl des Ansatzes zur Festlegung der Testrichtungen ist im Einzelnen für die vorliegenden 3D-CAD-Modelle bzw. die zugrundeliegenden Geometrien zu prüfen. Abbildung 44 zeigt die Anwendung und die Ergebnisse des Raycast-Verfahrens am Beispiel der Kollisionsprüfung anhand der lokalen Achsen einer Schraubenverbindung.

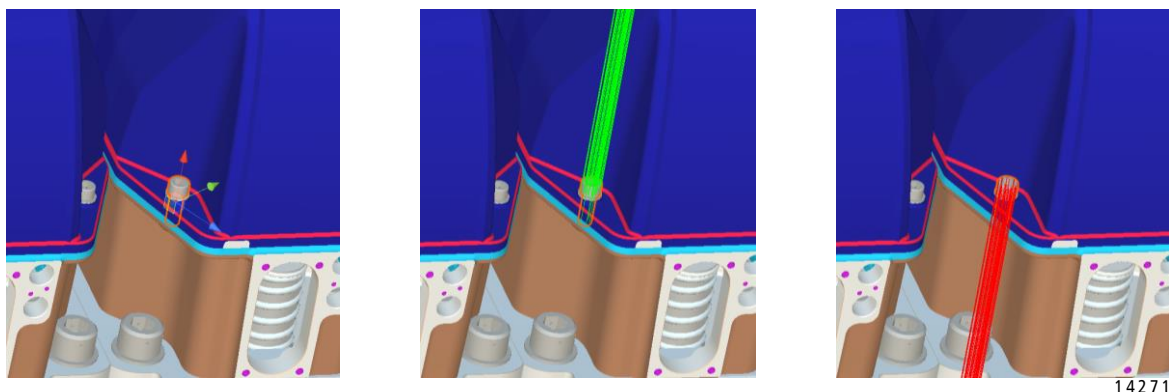


Abbildung 44: Darstellung der lokalen Achsen einer Schraube (links), einer kollisionsfreien Ausbaurichtung (mittig) und einer kollidierenden Ausbaurichtung (rechts) [Meye20, S. 36 f.]

Findet das Verfahren nach Anwendung der lokalen Achsen (links) eine freie Richtung (Ausbau nach oben, mittiges Bild), wird die Reihenfolgeposition des Bauteils als Listeneintrag gespeichert. Dabei prüft das Verfahren auch die entgegengesetzten Richtungen der Achsen (Ausbau nach unten, rechtes Bild).

Objekterkennung

Für die Formulierung der Handlungen wird die Bauteilbezeichnung benötigt. Dieser Arbeitsschritt erfolgt im konventionellen Ablauf, indem der Technische Redakteur für jedes Bauteil die korrekte Bezeichnung herausucht – meistens aus vorgegebenen Listen mit einheitlichen Bezeichnungen.

Um eine aufwändige manuelle Verknüpfung von Bauteilen und Bezeichnungen zu vermeiden, stellt sich die Frage, wie diese Aufgabe automatisiert werden kann. Es ergeben sich zwei naheliegende Ansätze, die die automatische Benennung der Bauteile ermöglichen:

- Texterkennung
- Geometrieerkennung

Liegen die Einträge für die Bauteilnamen bzw. für die Komponentenbezeichnungen innerhalb der hinterlegten Metadaten der 3D-CAD-Modelle vor, idealerweise in einer verknüpften Stückliste, lassen sich diese für die Formulierung der Handlungsbeschreibungen wiederverwenden. Dies setzt jedoch voraus, dass die Metadaten der 3D-CAD-Modelle vollständig gepflegt und die Einträge für die Bauteilnamen in einer allgemeinen und wiederverwendbaren Form hinterlegt sind [Koth11, S. 239]. Abbildung 45 zeigt den Ablauf für die Benennung der Bauteile anhand der Bauteilliste.

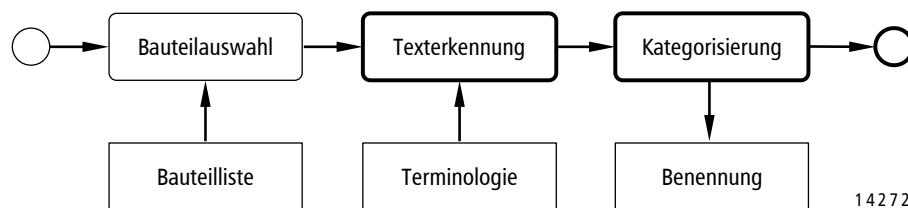


Abbildung 45: Ablauf für die Bauteilbenennung anhand der Metadaten

In der Regel ist die Benennung für jedes Bauteil des 3D-CAD-Modells als Metainformation hinterlegt. Nach der Auswahl des entsprechenden Bauteils hat die Programmlogik Zugriff auf die hinterlegten Metadaten. Die Benennung der Bauteile innerhalb der Metadaten stimmt jedoch nicht immer mit den Bezeichnungen innerhalb der Anleitungen überein, weil die Redakteure bei der Erstellung der Anleitungen eine andere Terminologie verwenden als die Konstrukteure. In Anlehnung an dieses Vorgehen greift die Programmlogik aus dem oben beschriebenen Ablauf ebenfalls auf die Terminologie zurück und nutzt diese als Grundlage für die Benennung der Bauteile. Dafür sind in den Listeneinträgen der Terminologie sowohl die Benennung als auch die möglichen Synonyme hinterlegt. Die Programmlogik erkennt in-

nerhalb der Texteinträge die Synonyme und kategorisiert das Bauteil mit der zugehörigen Benennung aus der Terminologie.

Liegen keine Bauteilbezeichnungen innerhalb der Metadaten vor, können die Komponenten auch anhand der Geometrien erkannt werden. Dafür existieren verschiedene Verfahren: Rafibakhsh nutzt charakteristische Merkmale von Bauteilen, wie z. B. das Gewinde, um Aussagen über die Kategorie zu treffen [Rafi17, S. 39 ff.]. Die Erkennung der Geometrien kann bei ausreichender Datengrundlage auch angelernt und trainiert werden – Maschinelles Lernen. So generieren bspw. Su et al. Bilder der 3D-Modelle aus unterschiedlichen Perspektiven, um anhand dieser später die Geometrien zu erkennen [Su15, S. 3 ff.]. Abbildung 46 zeigt den Ablauf für die Erkennung und Kategorisierung von ausgewählten Bauteilen auf Basis der Geometrien.

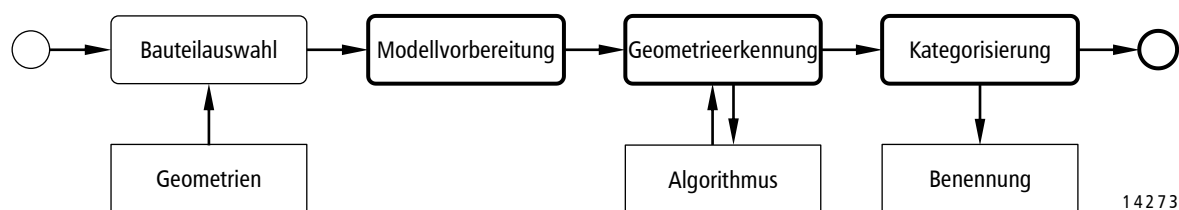
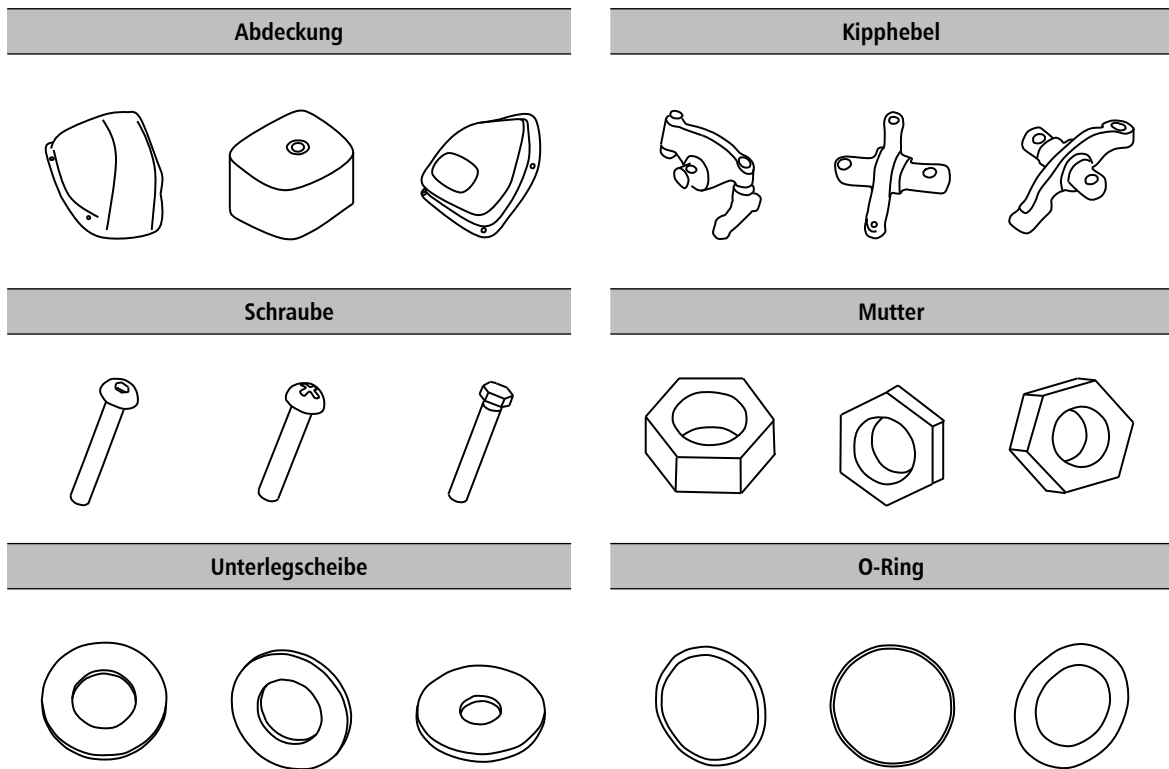


Abbildung 46: Ablauf für die Erkennung und Kategorisierung von Bauteilen anhand von Geometrien

Für die Geometriezuordnung greift Meyer in Anlehnung an Su et al. ebenfalls auf die Bilderkennung zurück [Meye20, S. 45 f.]. Das Anlegen von Trainingsdaten mit sog. Ein- und Ausgabepaaren (Bilder und Benennungen) bildet beim Maschinellen Lernen die Voraussetzung dafür, dass der Algorithmus trainiert werden kann. Abbildung 47 zeigt beispielhaft in Anlehnung an Meyer die Bildung von Ein- und Ausgabepaaren zur Kategorisierung von Bauteilen eines Antriebsmotors.



14274

Abbildung 47: Ein- und Ausgabepaare zum Aufbau von Trainingsdaten in Anlehnung an [Meye20, S. 21]

Entscheidend für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist die Einbindung der beiden Verfahren zur Erkennung der Objekte (anhand der Texte und Geometrien) in den Erstellungsprozess digitaler Anleitungen. Der Einsatz beider Verfahren steigert die Wahrscheinlichkeit für ein erfolgreiches Ergebnis für die Objektbenennung. Für die jeweilige Fallunterscheidung zeigt Meyer ein entsprechendes Vorgehen (vgl. Abbildung 48).

| | Texterkennung | Geometrierkennung | Ergebnis |
|----------|---------------|----------------------------|---------------------------------|
| Fall I | kein Treffer | geringe Wahrscheinlichkeit | manuelle Eingabe erforderlich |
| Fall II | kein Treffer | hohe Wahrscheinlichkeit | Eintrag aus der Bilderdatenbank |
| Fall III | Treffer | geringe Wahrscheinlichkeit | Eintrag aus der Textdatenbank |
| Fall IV | Treffer | hohe Wahrscheinlichkeit | beliebiger Eintrag möglich |

14275

Abbildung 48: Fallunterscheidung der Text- und Geometrierkennung in Anlehnung an [Meye20, S. 48]

Tätigkeitszuordnung

Entscheidend für die Darstellung der Arbeitsschritte ist die Beschreibung der Tätigkeiten. Diese stehen in unmittelbarer Verbindung zu den Bauteilen: *Schrauben abschrauben* oder *O-Ring entfernen*. Die Verknüpfung der im vorangegangenen Abschnitt identifizierten Bauteile mit den zugehörigen Handlungen deckt die Beschreibung eines Arbeitsschrittes ab. Abbildung 49 zeigt schematisch den Ablauf für die Zuordnung von Tätigkeitbeschreibungen zu den zuvor erkannten Geometrien.

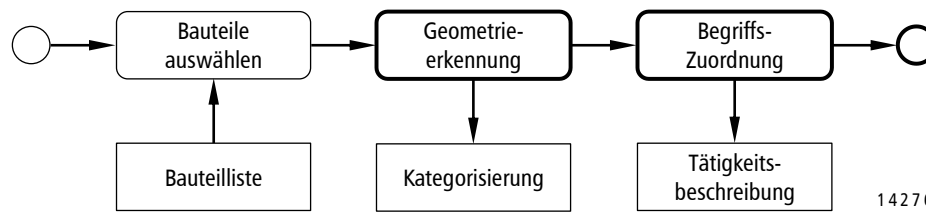


Abbildung 49: Ablauf für die Zuordnung von Tätigkeitsbeschreibungen

Die Einordnung eines Bauteils in eine vordefinierte Kategorie gibt Aufschluss darüber, um welches Bauteil es sich handelt. Diese Information ist ausschlaggebend für die korrekte Auswahl und Zuordnung der richtigen Tätigkeitsbeschreibung unter Berücksichtigung der aktuellen Aufgabe, wie z. B. Demontage- oder Montagevorgänge.

Voraussetzung für die Zuordnung ist die Vorbereitung und Pflege von Bauteillisten mit aufgabentypischen Standardbegriffen für die Handlungen (vgl. Abbildung 50).

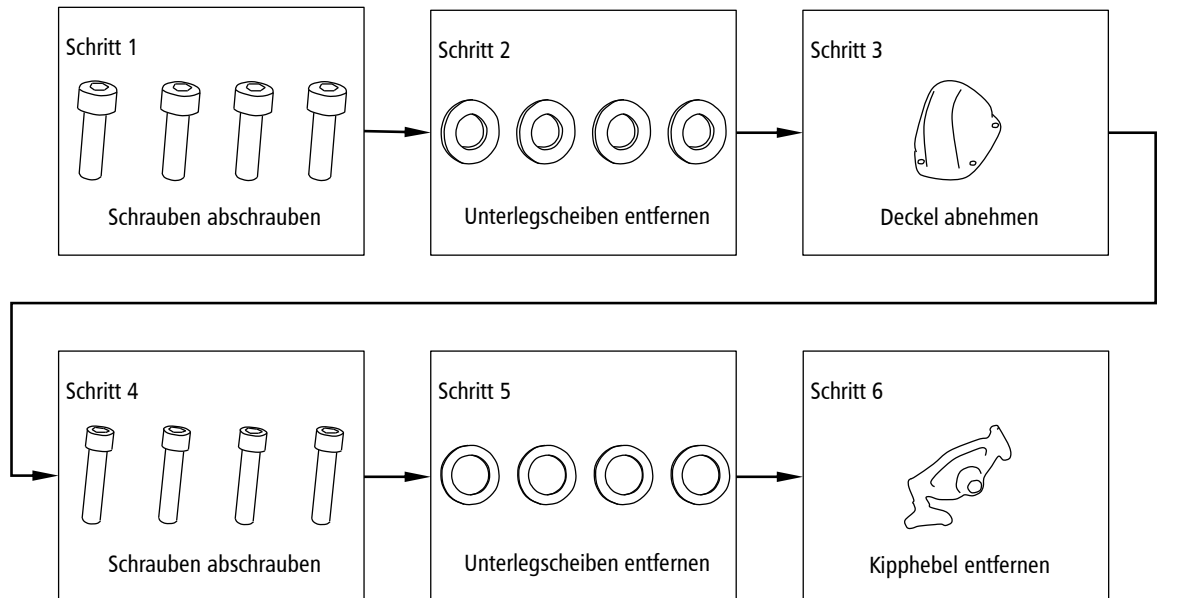
| Bauteile | Handlungen | |
|-----------------|--------------|-------------|
| | Montage | Demontage |
| Deckel | Aufsetzen | Abnehmen |
| Kiphebel | Aufsetzen | Abnehmen |
| Mutter | Aufschrauben | Abschrauben |
| O-Ring | Platzieren | Entfernen |
| Schraube | Einschrauben | Abschrauben |
| Unterlegscheibe | Platzieren | Entfernen |

Abbildung 50: Beispiel für eine Bauteilliste mit aufgabentypischen Handlungsbeschreibungen

Solche Listen liegen i. d. R. in den Unternehmen bereits vor und werden im Zuge der *kontrollierten Sprache* ausgearbeitet und gepflegt [Drew11, S. 191 ff.]. Die Verwendung von einheitlichen Standardbegriffen ist für den Redaktionsprozess mit den folgenden Vorteilen verbunden:

- Anleitungen und Arbeitsschritte können durch die Kurzbeschreibung der Handlungen mithilfe von Standardbegriffen einfacher übersetzt werden.
- Die Beschreibung von kurzen Handlungen ergänzend zu der 3D-Visualisierung der zugehörigen Bauteile schafft ein klares Verständnis für die Aufgabe und vermeidet lange Textausführungen.
- Die Verwendung von einheitlichen Begriffen trägt dazu bei, die Anleitungen nach einem definierten Standard auszulegen. Dies wirkt sich positiv auf die Anwenderakzeptanz aus.

Zusammenfassend resultiert aus der Kollisionsprüfung, der Geometrie- und Texterkennung sowie der Tätigkeitszuordnung eine Abfolge von automatisch angelegten Demontearbeitsschritten. Abbildung 51 illustriert die Ergebnisse der automatischen Arbeitsplangenerierung.



14278

Abbildung 51: Illustrierte Ergebnisse der automatischen Arbeitsplangenerierung in Anlehnung an [Meye20, S. 61]

Für die übersichtliche Gestaltung der Anleitungen werden Arbeitsschritte mit gleichen Bauteilen und Handlungen zusammengefasst. Dafür prüft die Programmlogik während der Kollisionsprüfung, ob mehrere Bauteile gleichzeitig ausgebaut werden können. Die Erkennung der Bauteile anhand der Geometrie oder der Metadaten gibt Aufschluss darüber, ob diese Bauteile zu derselben Kategorie, wie z. B. Schrauben, gehören. Eine positive Übereinstimmung von gleichzeitig ausbaubaren Bauteilen aus derselben Kategorie legt nahe, dass die Demontagen in einem Arbeitsschritt erfolgen können. Die Aufzählung der zu demontierenden Komponenten innerhalb des Arbeitsschrittes veranschaulicht die Handlung, indem der Anwender bei der Umsetzung z. B. die Anzahl der Schrauben nachzählt, bevor der nächste Arbeitsschritt umgesetzt wird. Auch der Erstellungsprozess wird durch die automatische Gruppierung der Arbeitsschritte einfacher gestaltet, weil der Technische Redakteur mehr Übersicht über die Arbeitsschritte erhält. Diese Zusatzinformation kann je nach Anwendungsfall und Produkt durch die Technische Redaktion berücksichtigt werden.

In Anlehnung an die ausgearbeiteten Abläufe zur Erkennung von Geometrien und zur Zuordnung von Tätigkeitbeschreibungen für definierte Aufgaben zeigt Abbildung 52 die technische Umsetzung der Konzepte für eine beispielhafte Demontageaufgabe am *Desktop Creator*.

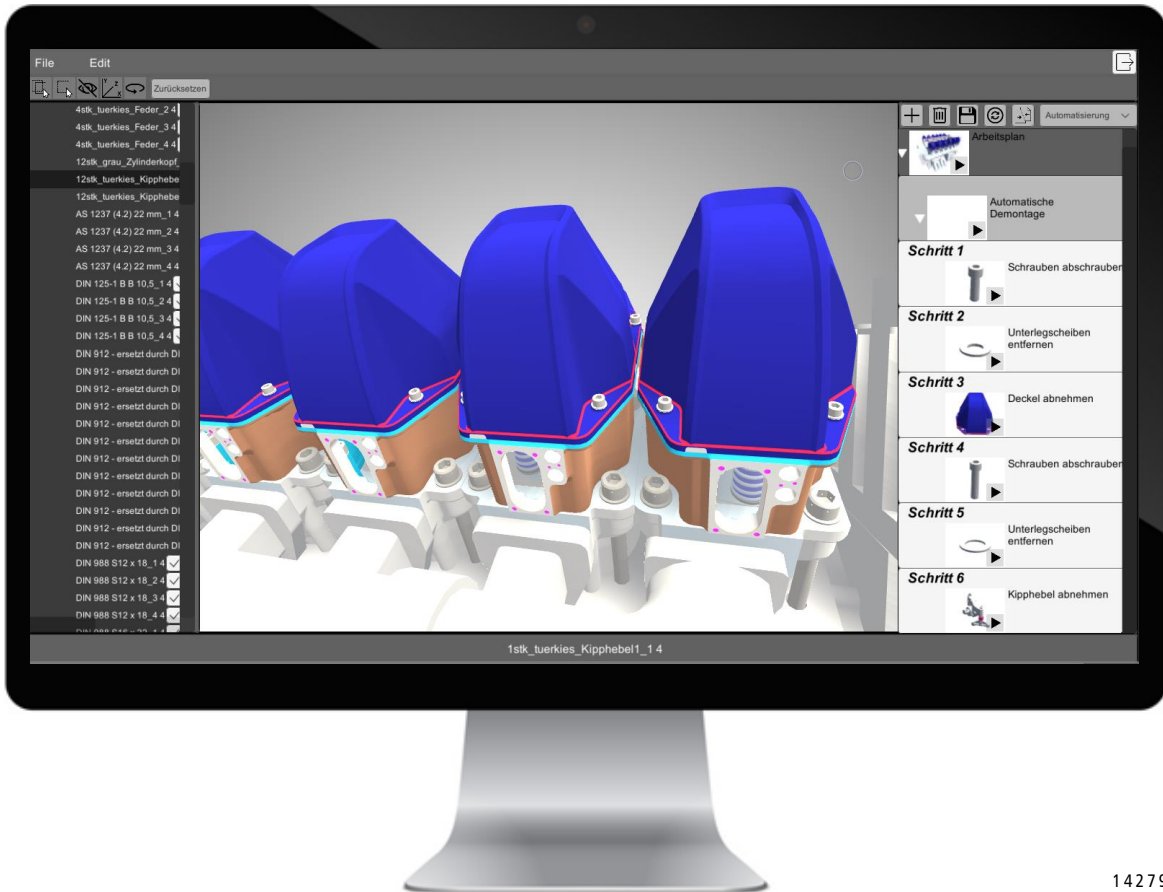
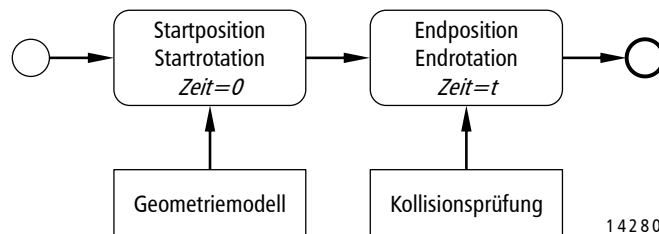


Abbildung 52: Automatische Generierung der Anleitung

14279

Animationsgenerierung

Um die Arbeitsschritte zu verdeutlichen, helfen Animationen der betroffenen Komponenten bei der Visualisierung der Demontagehandlungen. Die Ergebnisse aus der zuvor durchgeführten Kollisionsprüfung mithilfe des Raycast-Verfahrens helfen bei der automatischen Generierung der Animationen. Abbildung 53 zeigt den Ablauf für die automatische Animationsgenerierung.



14280

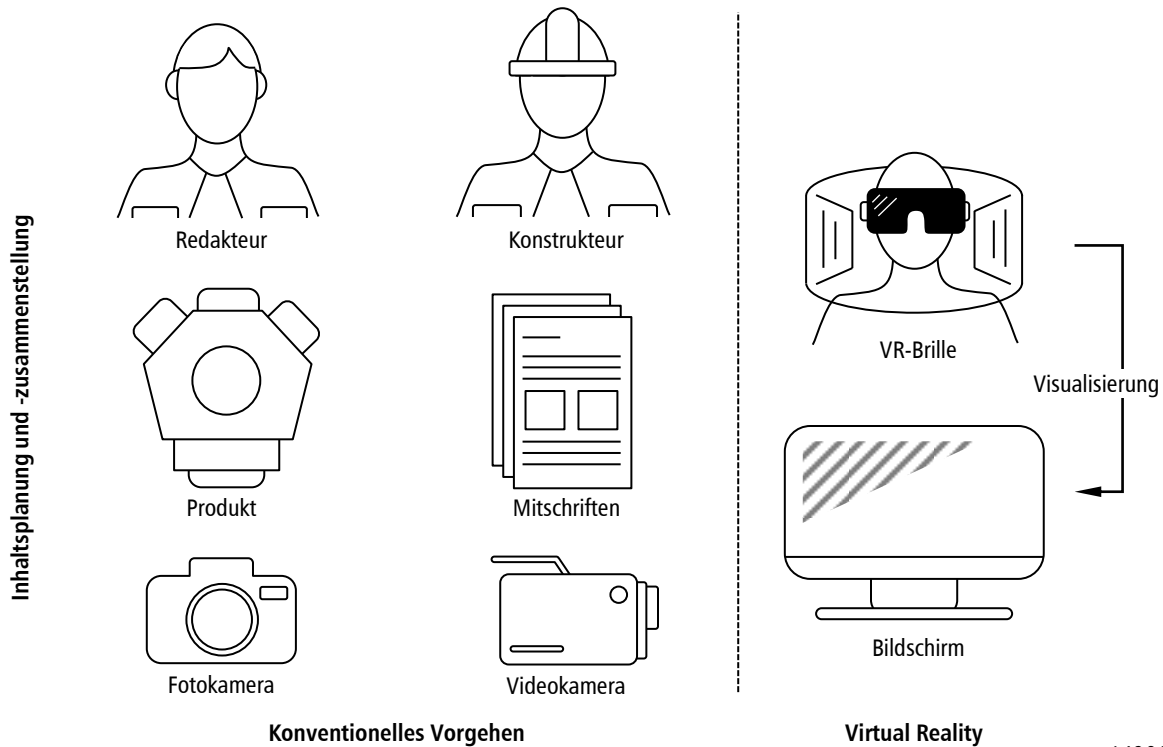
Abbildung 53: Ablauf für die automatische Animationsgenerierung

Eine einfache Bewegungsanimation entlang der Längsachse eines Bauteils setzt sich aus zwei *Keyframes* zusammen (vgl. Abschnitt 5.2.3). Dafür müssen die Startposition und die Startrotation zum Zeitpunkt Null sowie die Endposition und die Endrotation zum Zeitpunkt t definiert werden. Die Positions- und Rotationsdaten zum Startzeitpunkt ergeben sich aus den Koordinaten des Geometriemodells. Geht man von einer einfachen linearen Bewegung aus, ergeben sich die Positions- und Rotationsdaten zum Endzeitpunkt aus der Verschiebung der Startposition entlang des während der Kollisionsprüfung ermittelten Richtungsvektors. Die Dauer der Animation kann dabei beliebig eingestellt werden.

5.2.5 Virtual Reality

Um Mitarbeiter der Technischen Redaktion auch bei der Planung von Instandhaltungsanleitungen sowie bei der Erstellung komplexer Animationen zu unterstützen (Anforderung E1 und E2) stellt der *VR Creator* ergänzend zum *Desktop Creator* die erforderliche Zusatzfunktionalität bereit. Der Einsatz der VR-Technologie hat im Vergleich zur herkömmlichen Vorgehensweise wichtige Vorteile.

Für die Planung und Zusammenstellung der Inhalte für die Instandhaltungsanleitungen treffen sich beim konventionellen Vorgehen die Technischen Redakteure mit den Konstrukteuren am realen Produkt und besprechen gemeinsam die Produktänderungen und -funktionalität. Nicht selten ergeben sich dabei logistische Herausforderungen, weil das Produkt entweder derzeit zu Demonstrationszwecken gar nicht verfügbar ist oder aufwändig transportiert und aufgebaut werden muss. Die Technischen Redakteure schreiben die Erläuterungen der Konstrukteure zu dem Produkt handschriftlich mit. Ergänzend zu den Mitschriften erstellen sie Fotografien vom Produkt und nehmen die Handgriffe der Konstrukteure auf Video auf. Das Videokamera-Equipment muss im Vorfeld aufgebaut werden. Die handschriftlichen Notizen, Foto und Videoaufnahmen nutzen die Technischen Redakteure als Grundlage, um die Instandhaltungsanleitungen zu beschreiben. Die manuelle Aufarbeitung der Materialien ist aufwändig und erfordert weitere Rückfragen, die oftmals nur per E-Mail oder telefonisch geklärt werden können. Die virtuelle Planung der Instandhaltungsanleitungen sowie Zusammenstellung der Inhalte in VR kann die manuellen Aufwände reduzieren (Abbildung 54).



14281

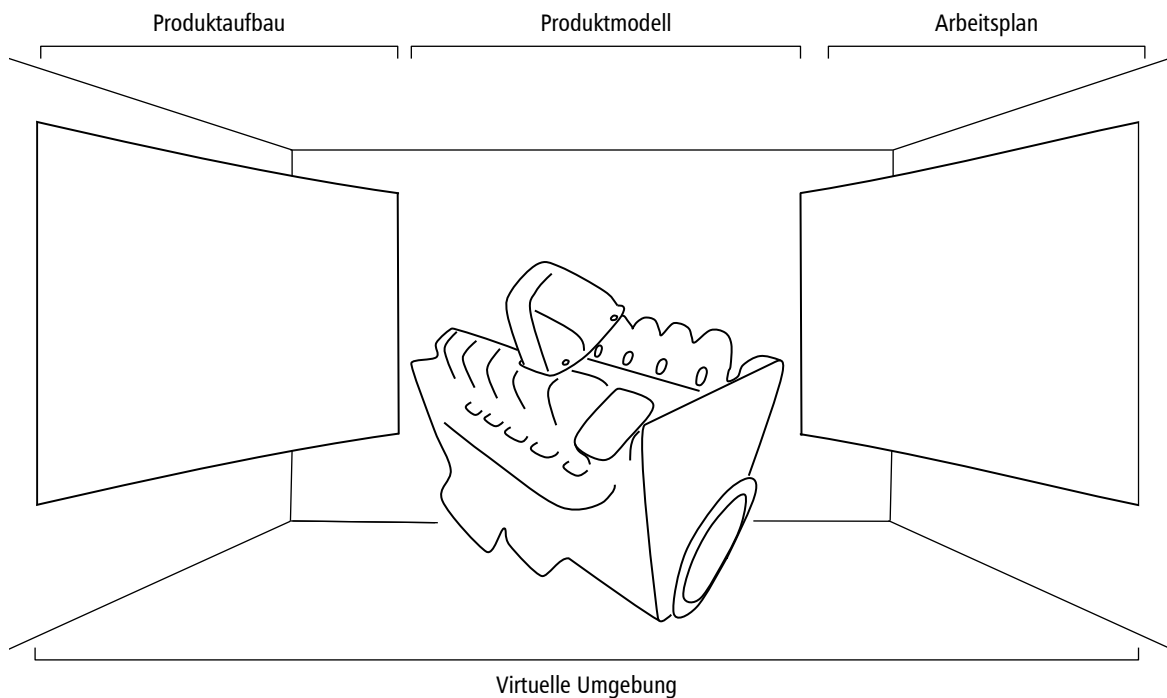
Abbildung 54: Gegenüberstellung des konventionellen Vorgehens bei der Inhaltsplanung und -zusammenstellung und dem Einsatz von Virtual Reality

Während der kollaborativen VR-Session demonstriert der Konstrukteur dem Technischen Redakteur die Demontageschritte virtuell am 3D-Modell. Die Verfügbarkeit und der Aufbau des Produktes vor Ort sind nicht mehr erforderlich. Auch die handschriftlichen Notizen zu den Ausbaureihenfolgen des Produktes und der Baugruppen sowie ergänzende Fotos und Videoaufnahmen sind nicht mehr notwendig, weil alle Handgriffe des Konstrukteurs am 3D-Modell als Vorlage für die Ausarbeitung am *Desktop Creator* gespeichert werden können.

Entscheidend für die Aufnahme der Handgriffe in VR ist die Möglichkeit, Objektbewegungen bzw. Animationen in VR einfach umsetzen zu können. Dies gilt auch für komplexe Animationen, um Objektbewegungen zu veranschaulichen, die über eine lineare oder rotarische Bewegung hinausgehen.

Auch die Entwicklung von VR-Werkzeugen zur Planung und Zusammenstellung der Inhalte als Vorlage für die spätere Ausarbeitung ist entscheidend für den produktiven Einsatz des VR-Creators. Das System muss den Nutzer befähigen, arbeitsschrittrelevante Informationen schnell anlegen und dem Arbeitsplan hinzufügen zu können.

Die Umsetzung des VR Creators erfolgt dazu unter besonderer Berücksichtigung der Nutzergewohnheiten. Dafür gilt es, beide Creator-Anwendungen nach einem einheitlichen Konzept auszulegen. Abbildung 55 zeigt in Anlehnung an das bereits zuvor erarbeitete Konzept für die Benutzerschnittstelle des *Desktop Creators* (vgl. Abschnitt 5.2.1) die Anordnung der wesentlichen User-Interface-Komponenten der VR-Anwendung.



14282

Abbildung 55: Konzept für ein immersives Menü

Der Wechsel zwischen den Benutzerschnittstellen (Desktop und VR) führt unmittelbar zum Wechsel der Arbeitsumgebung. Während der Nutzer den *Desktop Creator* ausschließlich vom Schreibtisch aus bedient, erfolgt die Bedienung des *VR-Creators* innerhalb der virtuellen Umgebung – angrenzend aufgebaut neben dem Schreibtisch oder einem weiteren ausgewählten VR-Arbeitsplatz (reale Umgebung). Auch die virtuelle Umgebung umfasst die gesamte Computer-generierte 3D-Szene mit dem Produktmodell sowie dem Benutzermenü zur Programmsteuerung. Im Fokus der Anwendung steht das Produktmodell als Ausgangsobjekt der zu erstellenden Anleitungen, der Produktaufbau zur Visualisierung der Geometriestruktur sowie der Arbeitsplan mit den Handlungsschritten. Über ein entsprechendes Auswahlmenü werden sowohl die einzelnen Inhalte geplant (vgl. Abschnitt 5.2.7) und die Handlungsschritte zusammengestellt (vgl. Abschnitt 5.2.8) als auch Programmwerkzeuge gesteuert (vgl. Abschnitt 5.2.6).

Für die technische Umsetzung und Implementierung einer VR-Anwendung sind für das Unternehmen unterschiedliche Gesichtspunkte miteinzubeziehen:

- **Bestehende IT-Systeme:**
Werden in den Unternehmen VR-Systeme mit Rechnerkapazitäten und Schnittstellentechnologien verwendet, ist der Frage nachzugehen, ob diese für die softwaretechnischen Bedürfnisse der Redaktion übernommen und angepasst sowie erweitert werden können. In einigen Unternehmen werden bereits VR-Systeme für die Produktentwicklung oder Schulung eingesetzt. Die Zusammenführung der Anwendungen zu einem Basissystem mit unterschiedlichen Derivaten könnte hier strategische und wirtschaftliche Vorteile erzielen.

- **Technologiefortschritt:**
Der industrielle Einsatz von VR ist noch verhältnismäßig jung. Nur wenige Unternehmen verfügen derzeit über praktische Erfahrungen. Der technologische Fortschritt und die zugrundeliegende Hardware werden jedoch insbesondere durch die Consumer-Industrie schnell vorangetrieben. Die Veröffentlichung einer neueren Hardwaretechnologie kann innerhalb kurzer Zeit auch zu einer industriellen Umorientierung führen. Angesichts dessen gilt es, mithilfe von Marktrecherchen den technischen Status quo der eingesetzten Hardware zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren.
- **Entwicklungsumgebungen:**
Neben der eingesetzten Hardware ist ebenfalls die zugrundeliegende Entwicklungsumgebung zur Programmierung der Software strategisch sinnvoll auszuwählen. Entscheidende Kriterien sind hierbei u. a. die Marktgröße und die Nutzeranzahl, die sich unmittelbar auf die öffentlichen Erfahrungswerte im Umgang mit dem eingesetzten System auswirken. Ebenso ist auch die Kompatibilität mit der marktüblichen Hardware zu prüfen, um ggf. eine optimale Kombination zwischen Hardware- und Entwicklungsumgebung zu finden.

Für die Umsetzung des Konzeptes und des Demonstrators wurde exemplarisch das Headset *HTC Vive*, bestehend aus einer VR-Brille, Controllern und Trackingsystem, vom Hersteller *HTC* eingesetzt. Die Implementierung der zugrundeliegenden Programmsoftware erfolgt auf Basis der Entwicklungsumgebung *Unity*. Prinzipiell ist das Konzept auch mit anderen Programmumgebungen und anderer Hardware umsetzbar. Abbildung 56 zeigt in Anlehnung an Meluzov et al. [Melu19a, S. 39] die technische Umsetzung der Benutzerschnittstelle für den *VR-Creator*.



14283

Abbildung 56: Technische Umsetzung der Benutzerschnittstelle des VR-Creators in Anlehnung an [Melu19a, S. 39]

Mithilfe der Controller bedient der Anwender das Auswahlmenü (links unten) und interagiert mit dem 3D-Modell (rechts unten). Das Auswahlmenü stellt dem Anwender prozessrelevante Werkzeuge bereit. Die Werkzeuge vereinfachen und unterstützen sowohl die Planung der zu erstellenden Inhalte (vgl. Abschnitt 5.2.7) als auch ihre Zusammenstellung (vgl. Abschnitt 5.2.8) und die Bewegung innerhalb der 3D-Szene.

Für einen produktiven Einsatz besonders wichtig ist die nutzer- und aufgabenge-rechte Auslegung der Menüsteuerung für die Interaktion mit den virtuellen Objekten und die Bewegung sowie Orientierung innerhalb der virtuellen Umgebung.

5.2.6 Menüsteuerung

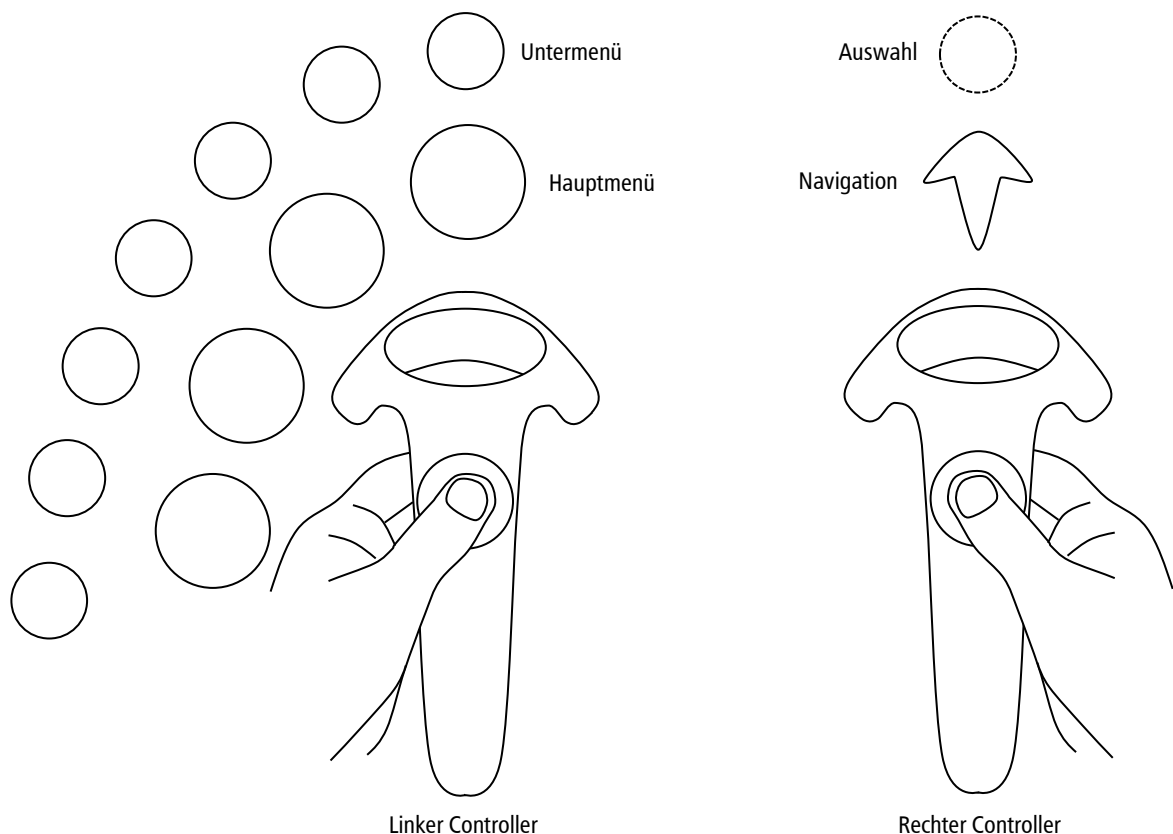
Der produktive Einsatz der VR-Brillen ist stark abhängig von der Nutzerakzeptanz. Neben der Bereitstellung einer ausreichenden Softwarefunktionalität wird diese durch eine einfache Steuerung des Systems bestimmt.

Die vertraute Menüsteuerung soll den Anwendern die Bedienung der VR-Software erleichtern. Um eine intuitive Menübedienung zu ermöglichen, müssen dem Nutzer der Software die grundlegenden Interaktionsmöglichkeiten innerhalb der virtuellen Umgebung in einer einheitlichen Form bereitgestellt werden. Damit der Nutzer vollständig mit der virtuellen Umgebung interagieren und seine Arbeitsaufgaben ausführen kann, werden die folgenden Grundfunktionalitäten benötigt:

- Fortbewegung:
Analog zu der realen Umgebung mit dem Instandhaltungsobjekt muss der Anwender sich auch innerhalb der virtuellen Umgebung mit dem digitalen Produktmodell bewegen bzw. sich zum Zielort navigieren können. Bowman et al. beschreiben die Navigation in der virtuellen Umgebung als entscheidende Grundfunktionalität [Bowm01, S. 98]. Die Funktionalität der Software zur Bewegung und Navigation innerhalb der 3D-Szene sollte zu jedem Zeitpunkt so umgesetzt werden, dass der Nutzer kein Unwohlsein (sog. *Motion-Sickness*) verspürt. Vielmehr sollte die Navigation innerhalb der virtuellen Szenen den Anwender an die gewohnten physischen Bewegungen aus dem Alltag erinnern.
- Blickausrichtung:
Neben der Bewegung zum Zielort ist die Ausrichtung des Blickfeldes auf das Produktmodell entscheidend für eine vollständige Erfassung der relevanten Komponenten. Häufig geht die Ausrichtung des Blickfeldes mit der Bewegung einher, weshalb im Folgenden beide Aufgaben zur Fortbewegung zusammengefasst werden.

- **Objektinteraktion:**
Eine weitere Grundfunktionalität innerhalb der virtuellen Umgebung ist die Auswahl und Bewegung der Produktmodelle [Bowm99, S. 38 ff.]. Der Anwender muss die 3D-Objekte innerhalb der virtuellen Szene greifen und verschieben können. Anders als in der Realität können die Produktmodelle in der virtuellen Umgebung unabhängig von ihrer Größe und ihrem Gewicht in alle Richtungen bewegt werden. Die Verwendung von sog. *Bewegungs-Constraints* oder *Physik-Engines* kann diesem Effekt bei Bedarf entgegenwirken.
- **Menüauswahl:**
Die Auswahl der relevanten Inhalte sowie der Werkzeuge aus einem Menü muss, analog zum herkömmlichen Arbeiten am Desktop, auch innerhalb der virtuellen Umgebung erfolgen. Der Anwender muss mithilfe der gegebenen Softwarefunktionalität die Inhalte und Werkzeuge schnell abrufen können. Eine geeignete Kombination aus Menü- und Objektinteraktion kann die Arbeitseffizienz innerhalb der virtuellen Umgebung deutlich steigern.

Abbildung 57 zeigt, wie die Funktionalität den Controllern der eingesetzten VR-Hardware *HTC Vive* zugeordnet wurde.



14284

Abbildung 57: Zuordnung der Menübedienung zu den Eingabegeräten am Beispiel der HTC-Vive-Controller

Der Anwender wählt die relevanten Inhalte und Werkzeuge über ein entsprechendes Menü aus. Wie in der Desktop-Anwendung wird zwischen dem Haupt- und Untermenü unterschieden, welches der Nutzer über den linken Controller abrufen. Für den praktischen Einsatz sind die Felder beider Menüs mit prozessrelevanten Werkzeugen zu hinterlegen. Die nachfolgenden Abschnitte zeigen im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgewählte Beispiele für die Belegung des Haupt- und Untermenüs. Die Navigation innerhalb der virtuellen Umgebung sowie die Auswahl und Bewegung der Objekte erfolgt parallel mit dem rechten Controller. Ausgewählte Funktionen können zu ihrer Umsetzung auch beide Controller erfordern.

5.2.7 Inhaltsplanung

Insbesondere die Erstellung von Anleitungen für neue Produkte oder Varianten erfordert zunächst eine ausführliche Recherche der zugrundeliegenden Komponenten und ihrer Funktionsweise. Hierzu benötigen die Redakteure im Idealfall das reale Produkt, das aus verschiedenen Gründen nicht immer verfügbar ist.

Virtual Reality kann Produktmodelle anschaulich darstellen, sodass auf teure Prototypen oder physisch verfügbare Produkte verzichtet werden kann. Die wachsende Leistungsfähigkeit der VR-Hardware ermöglicht eine zunehmend detailliertere Darstellung der Modelle und lässt damit auch eine effizientere Planung durch den Menschen zu [Kunz20, S. 217].

Schnittebenen

Um einen schnellen Überblick über das Produkt zu erhalten, sowohl von außen als auch von innen, benötigt der Nutzer die Möglichkeit, Schnitte am Modell anzulegen, damit wichtige Bereiche gut zu sehen sind [Rund20, S. 56]. Mithilfe der erzeugten Schnittdarstellungen des Produktmodells lassen sich Erkenntnisse über den Aufbau des Produktes sowie die Funktionsweise erschließen. So kann der Nutzer durch das Anlegen einer Schnittansicht an der richtigen Position erkennen, welche Komponenten verbaut sind. Häufig erschließt sich auch die Funktionalität mit einer Schnittdarstellung besonders gut. Daher wurde auch für die prototypische Umsetzung des *VR Creators* die Halbschnittebene realisiert (vgl. Abbildung D im Anhang).

Bemaßungen

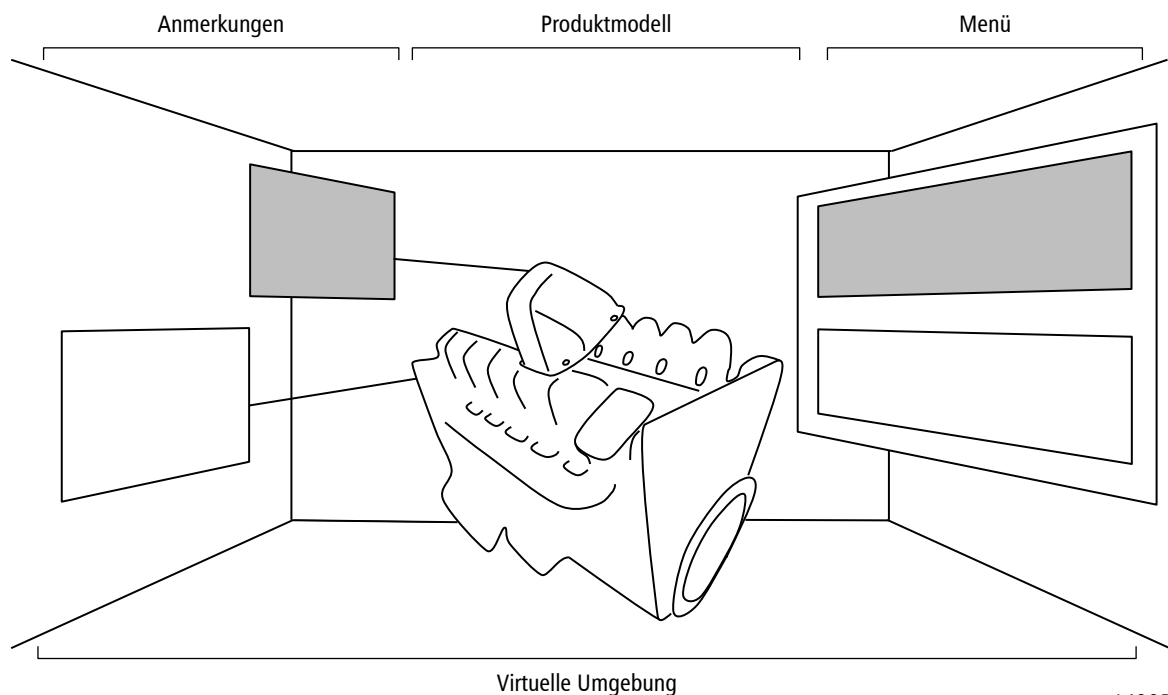
Um die für die Anleitungen erforderlichen Maße der Bauteile und der Komponenten am Produkt aufnehmen zu können, ist ein Messwerkzeug notwendig. Während eine detaillierte Bemaßung aller relevanten Bauteile und Baugruppen in den Zeichnungen der internen Technischen Dokumentation (vgl. Abschnitt 2.2.2) vorliegt und zur Feinplanung dient, zielt die Erfassung der Maße in Virtual Reality auf eine schnelle räumliche Analyse im Zuge der virtuellen Produktbegehung ab. Dementsprechend ist das 3D-Messwerkzeug so auszulegen, dass der Nutzer es mit wenig Aufwand bedienen kann, um die gewünschten Informationen abzurufen. Für die Erfassung eines notwendigen Maßes definiert der Nutzer einen Start- und einen Endpunkt. Für

die Platzierung der Punkte nutzt der Anwender den Controller und den Auslöser einer festgelegten Controller-Taste. Die Berechnung des Abstandes zwischen dem Start- und dem Endpunkt ergibt sich aus der Länge der Verbindungslinie. Abbildung E im Anhang zeigt die technische Umsetzung der Punkt-zu-Punkt-Distanzmessung. Damit hat der Nutzer das angelegte Maß zu jedem Zeitpunkt im Blick und kann dieses ggf. anpassen.

Anmerkungen

Der Nutzer der VR-Anwendung benötigt zudem die Möglichkeit, Anmerkungen anzulegen, die er abspeichern und wieder abrufen kann – ähnlich zu einem Notizblock.

Da die Anleitungen den Umgang mit den Komponenten der Maschinen und Anlagen während der Instandhaltung beschreiben, beziehen sich auch die Anmerkungen in der Regel auf die Bauteile (sog. bauteilbezogene Informationen). Abbildung 58 skizziert die Darstellung der Anmerkungen in VR.



14285

Abbildung 58: Darstellung von bauteilbezogenen Anmerkungen in VR

Jeder Anmerkung wird mindestens ein Bauteil des Produktmodells in der virtuellen Umgebung zugeordnet. Für eine übersichtliche Darstellung der Anmerkungen erscheinen diese zum einen in Verbindung mit den zugeordneten Bauteilen und zum anderen in einer Menüliste. In dem Menü können die Anmerkungen angelegt und bearbeitet werden.

Beim Anlegen der Anmerkungen stellt sich jedoch die Frage, wie eine einfache Eingabe von Texten in VR realisiert werden kann [Wegn20, S. 427]. Abbildung 59 gibt einen Überblick über mögliche Lösungsalternativen zur Eingabe von Texten und benennt Vor- und Nachteile.

| Eingabemöglichkeiten | | |
|--|--|---|
| Tastatur | Vorlagen | Sprachsteuerung |
| + Texte lassen sich direkt eingeben | + Keine manuelle Textbeschreibung | + Keine manuelle Textbeschreibung |
| - Handhabung in VR sehr umständlich | - Vorlagen müssen zunächst erstellt und angelegt werden | + Direkte Überführung der Sprachaufnahme in Texte |
| - Keine direkte Verbesserung gegenüber den herkömmlichen Prozessen | - Vorlagen müssen für die Anwendung jedes Mal rausgesucht werden | - Reaktionsfähigkeit der Sprachaufnahme |

14286

Abbildung 59: Überblick über die Vor- und Nachteile möglicher Alternativen zum Anlegen von Anmerkungen in VR

Obwohl die Tastatur ein gewohntes Eingabemedium darstellt, mit dem sich Texte direkt eingeben lassen, ist ihre Handhabung in VR sehr umständlich, weil jeder Buchstabe mithilfe der Controller ausgewählt werden muss. Auch die Verwendung von vorgeschichteten Vorlagen mit Standardanmerkungen gelingt in VR nur mit einer gewissen Vorarbeit. Die Vorlagen müssen im Vorfeld festgelegt werden. Damit hat der spätere Nutzer nur eine begrenzte Auswahlmöglichkeit. Gleichzeitig müssen diese Vorlagen zum Anlegen der Anmerkungen zunächst herausgesucht und ausgewählt werden. Mit zunehmender Anzahl an vorgeschichteten Anmerkungen steigt der dafür anfallende Aufwand. Die Aufnahme der Texte via Spracheingabe hat daher im Vergleich zu den alternativen Lösungen Vorteile, insbesondere wenn es gelingt, die Reaktionsfähigkeit während der Sprachaufnahme zukünftig weiter zu verbessern. Abbildung F im Anhang zeigt die technische Umsetzung der Erstellung und Visualisierung bauteilbezogener Anmerkungen in VR.

5.2.8 Inhaltzusammenstellung

Ein angepasstes Menü soll den Nutzer dabei unterstützen, die arbeitsschrittrelevanten Informationen in Virtual Reality zusammenzustellen

Arbeitsschrittinformationen

Ein wesentlicher Vorteil des immersiven Menüs, auch gegenüber der Desktop-orientierten Benutzeroberfläche, ist der große verfügbare Raum, um die verschiedenen Menüfenster zu platzieren. Während die Anordnung mehrerer Menüfenster am Desktop nur durch die Reduzierung der Darstellungsgröße gelingt, hat der Anwender in VR die Möglichkeit, das gesamte Menü im Zentrum des Produktmodells auszurichten und bei Bedarf ein- und auszublenden. Das Ein- und Ausblenden der einzelnen Menüs erfolgt direkt mithilfe der Controllersteuerung (vgl. Abschnitt 5.2.6), sodass aufwändige Auswahlvorgänge vermieden werden können. Abbildung 60 zeigt die Anordnung der einzelnen Menüfenster in der VR-Umgebung .



14287

Abbildung 60: Technische Umsetzung des immersiven Menüs für die Inhaltszusammenstellung

Analog zu der Inhaltserstellung am Desktop (vgl. Abschnitt 5.2.1) richtet sich auch die Erstellung der Inhalte in VR an dem Arbeitsplan und dem aktuellen Arbeitsschritt aus. Über das Menüfenster Inhalte erhält der Nutzer einen Überblick über die Informationen, die dem ausgewählten Arbeitsschritt bereits zugeordnet sind. Der Nutzer kann diese ggf. bearbeiten oder erweitern.

Animationen

Da die Controller-orientierte Erstellung von ausgewählten Animationen in VR gegenüber den herkömmlichen Eingabegeräten einfacher umzusetzen ist [Voge18, S. 1 ff.], zeigen die beiden nachfolgenden Abschnitte die Einbindung der Animationserstellung in die immersive Umgebung des *VR-Creators*. Für die Erstellung von Animationen in VR werden die beiden folgenden Formen unterschieden:

Lineare Animationen

Um einfache (lineare) Bewegungen der Bauteile zu erzeugen, greift der Anwender auf das in Abschnitt 5.2.4 vorgestellte Verfahren zur automatischen Animationsgenerierung mithilfe des sog. *Raycastings* zurück. Im Rahmen der Neuerstellung von Anleitungen, für die noch keine Animationen hinterlegt sind, unterstützt das Programm den Nutzer, indem automatische lineare Bewegungspfade generiert werden (vgl. Abbildung 61 links). Der Nutzer hat im Anschluss die Möglichkeit, die Bewegungspfade anzupassen, abzuspielen oder auch zu verwerfen (vgl. Abbildung 61 rechts).

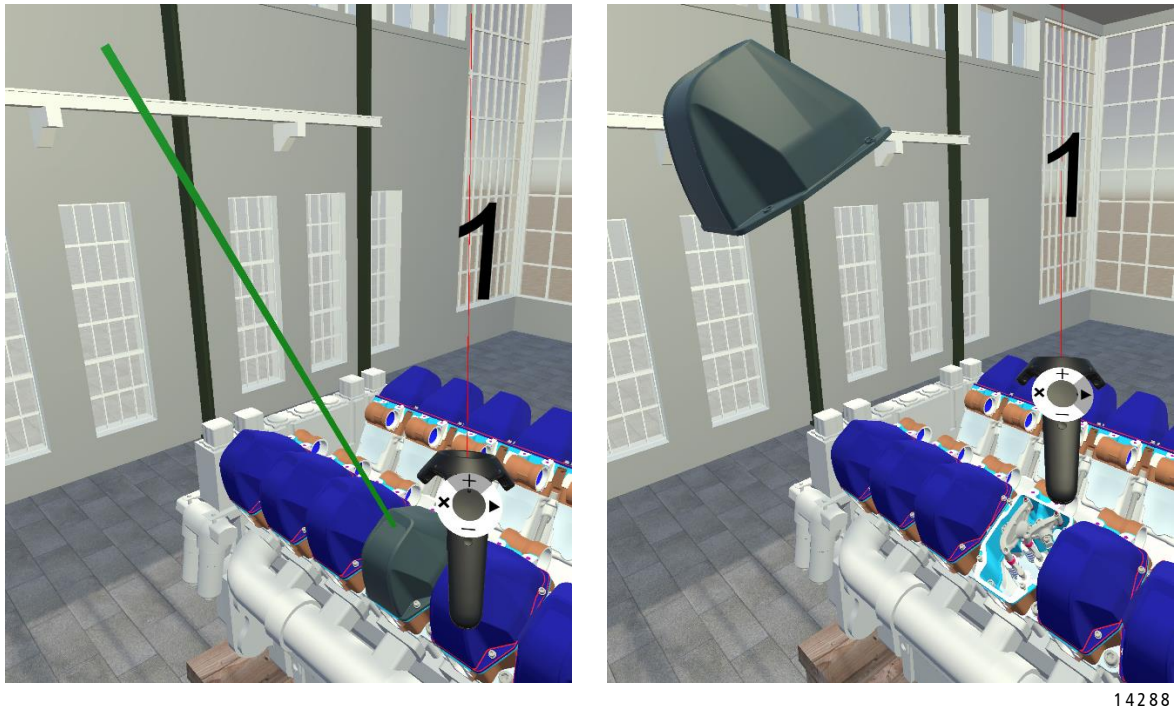


Abbildung 61: Visualisierung der automatisch generierten Animationspfade (links) und Objektbewegungen (rechts)

Um dem Nutzer ausreichenden Freiraum bei der Gestaltung der Animationen zu geben, kann er Animationen auch manuell anlegen oder anpassen

Nichtlineare Animationen

In vielen Fällen reichen lineare Animationen aus, um die Bewegung der Objekte nachvollziehbar zu animieren. Eine anschauliche Beschreibung der Anwendung eines Werkzeuges, wie z. B. eines Hammers, gelingt teilweise jedoch nur mit nichtlinearen Animationen entlang eines definierten Pfades im Raum.

Dazu hat der Nutzer die Möglichkeit, in VR mithilfe der Controller auch nichtlineare Animationen zu erstellen. Der Nutzer greift dafür die Objekte einfach mit den Controllern und bewegt sie entlang des gewünschten Pfades. Die Bewegung wird aufgenommen und als Animation gespeichert (vgl. dazu [Lamb20, S. 37])

Abbildung 62 visualisiert den Vorgang zur Aufnahme von Animationen mithilfe der freien Controller-Bewegungen.

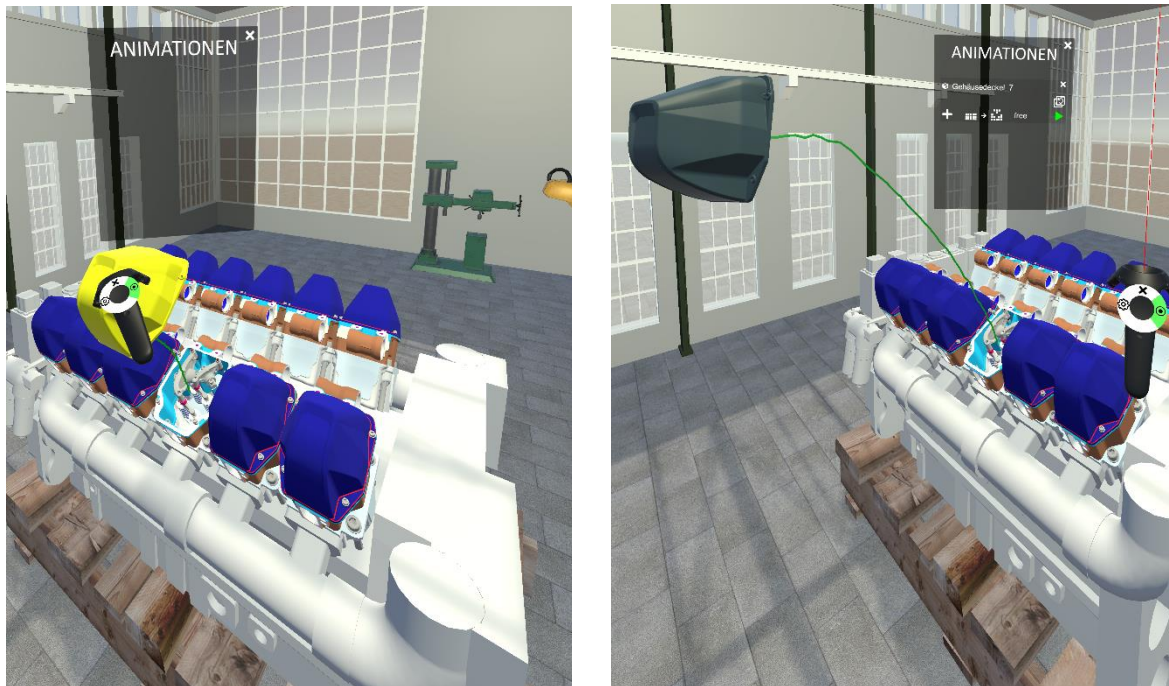


Abbildung 62: Greifen und Bewegen von Objekten (links) zum Aufnehmen von Animationen (rechts)

Um die aufgenommenen Bewegungspfade in ihrem Verlauf flüssiger abzubilden, können die Pfade mithilfe geeigneter Algorithmen [Voge18, S. 4] geglättet werden. Dadurch lassen sich die Pfade im Anschluss automatisch bearbeiten und ungewollte und ruckartige Bewegungen vermeiden.

In analoger Weise lässt sich auch die Handhabung der Werkzeuge animieren (vgl. Abbildung G im Anhang).

5.3 Mobiles Instandhaltungsassistenzsystem

Nur wenn es gelingt, die Informationen so wiederzugeben, dass Instandhaltungsarbeiten effizienter abgewickelt werden können, kann ein produktiver Einsatz des Assistenzsystems gewährleistet werden. Ziel ist die

- Reduzierung von zeitlichen Aufwänden beim Heraussuchen arbeitsschrittrelevanter Informationen aus den Anleitungen (Anforderung V1),
- Vermeidung von Ausführungsfehlern durch eine anschauliche Darstellung der auszuführenden Arbeitsschritte (Anforderung V2).

Abbildung 63 stellt die konventionelle Informationsbereitstellung und Dokumentation der Nutzung eines mobilen Instandhaltungsassistenzsystems gegenüber.

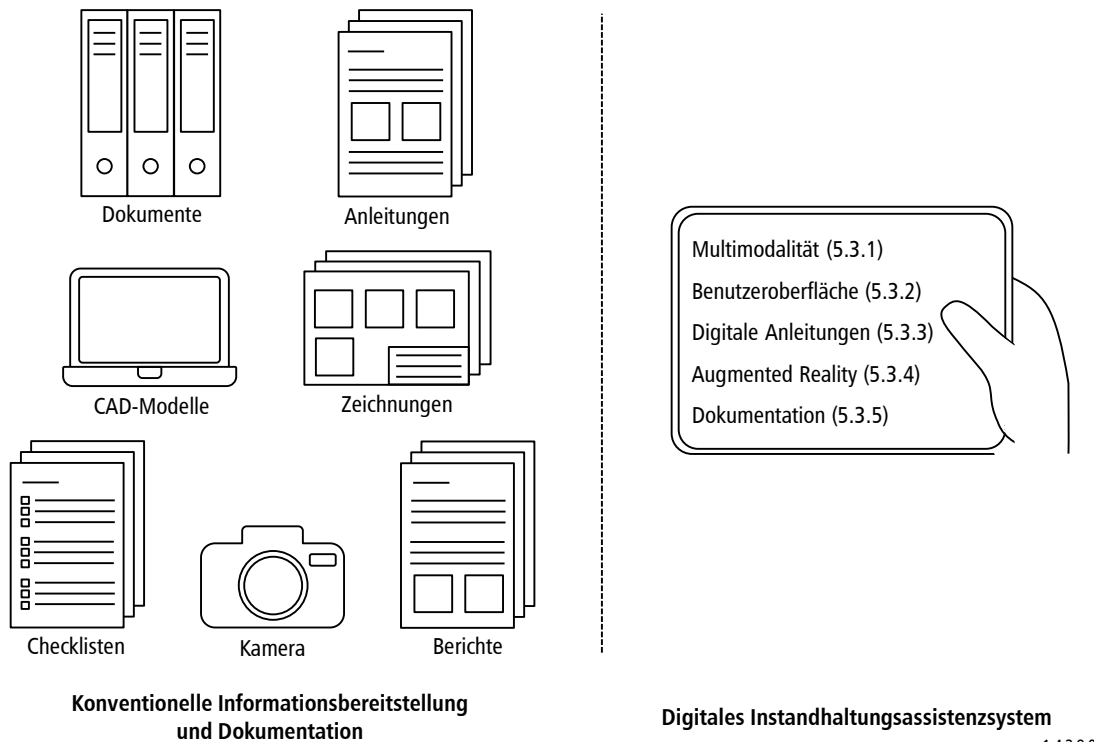


Abbildung 63: Gegenüberstellung der konventionellen und digitalen Informationsbereitstellung

Konventionell werden die Bereitstellung der Informationen überwiegend in Papierform bereitgestellt. Um die erforderlichen Informationen nachzuschlagen, müssen Mitarbeiter die passenden Dokumente, wie Anleitungen und Zeichnungen, aus den entsprechenden Ordnern herausuchen. Zur Verdeutlichung des Produktaufbaus greifen die Mitarbeiter auf die 3D-CAD-Modelle zurück, falls vorhanden. Diese werden dann i. d. R. über einen Laptop-PC abgerufen. Das Zusammensuchen der Informationen aus unterschiedlichen Quellen ist häufig mühselig und wenig effizient. Die anschließende Dokumentation der Arbeit ist geprägt von Checklisten, die handschriftlich gepflegt, später aufwändig in einem Bericht zusammengefasst und um Fotos erweitert werden müssen.

Die Zusammenführung unterschiedlicher Informationsquellen auf einem mobilen Assistenzsystem, wie dies bereits erfolgreich in der Produktion aufgezeigt wurde (vgl. Abschnitt 2.3.3), kann auch die Mitarbeiter in der Instandhaltung unterstützen. Dies setzt jedoch voraus, dass das Konzept des digitalen Assistenzsystems hinsichtlich der Aufgaben und Informationsbedürfnisse der Mitarbeiter aus der Instandhaltung weiterentwickelt wird (vgl. Abschnitt 3.2).

Die nachfolgenden Abschnitte zeigen auf, wie digitale Anleitungen auf einem mobilen Instandhaltungsassistenzsystem (sog. *Visualizer*) angezeigt werden können. Der Anwender erhält die für einen Arbeitsschritt relevanten Informationen, wie z.B. Werkzeuge und Technische Zusatzinformationen, direkt angezeigt, ohne diese aufwändig herausuchen zu müssen. Gleichzeitig dokumentiert der Anwender fertigestellte Arbeitsschritte, wie bspw. Prüfaufgaben, und wählt aus Vorlagen Werte und Zustände aus, ohne diese schriftlich zu protokollieren und anschließend manuell in eine Berichtsvorlage überführen zu müssen.

5.3.1 Multimedialität

Für die Entwicklung multimedialer Anwendungen verweisen Horz und Schnotz für die praktische Umsetzung zusammenfassend auf folgende Gestaltungshinweise [Horz10, S. 190 f.]:

In multimedialen Anwendungen, die sowohl Texte als auch Abbildungen enthalten, muss der Nutzer zwischen den einzelnen Informationsquellen wechseln und seine Aufmerksamkeit aufteilen – der sog. *Split-Attention-Effekt*. Am Beispiel der Papieranleitungen tritt dieser Effekt auf, wenn der Leser zwischen den Handlungstexten und den technischen Illustrationen springen muss, um die verknüpften Inhalte zu verstehen. Der Leser muss bei jedem Wechsel zunächst die Informationsquellen aufsuchen (durch Umblättern der Seite) und den jeweiligen Anknüpfungspunkt finden. Dies führt häufig dazu, dass der Leser Teile der einzelnen Informationsquellen ignoriert oder vergisst.

Um derartige Effekte zu reduzieren, sind die Anleitungen so zu gestalten, dass Texte und Abbildungen nahe beieinander angeordnet sind (sog. *Spatial-Contiguity-Effekt*). Das vermeidet aufwändiges Blättern zwischen den Seiten und das Suchen nach zusammenhängenden Informationen.

5.3.2 Benutzeroberfläche

Unter Berücksichtigung der im vorhergehenden Abschnitt 5.3.1 dargestellten Gestaltungshinweise stellt sich die Frage, wie die zusammenhängenden Informationen auf der Benutzeroberfläche des Endanwendersystems auszulegen sind. Für die Auslegung mobiler Assistenzsysteme für die Unikatmontage unterteilt Halata die Benutzeroberfläche in zwei Bereiche [Hala18, S. 63]:

- Visualisierung
- Ablauf

Der Visualisierungsbereich stellt die geometrisch verknüpften Informationen dar und der Ablaufbereich regelt die schrittweise Abfolge der Arbeitsschritte sowie die Darstellung modaler Informationen. Dies Konzept eignet sich auch für die Informationsanzeige in der Instandhaltung:

- Aus- und Einbauanimationen der verknüpften Geometrien müssen zur Verdeutlichung der schriftlichen Handlungstexte visualisiert werden.
- Handlungen werden nach einer vordefinierten Reihenfolge aufgelistet und legen den Ablauf der digitalen Anleitungen fest. Weitere relevante Informationen, wie z. B. Warnhinweise, werden ebenfalls über den Ablaufbereich geregelt.

Abbildung 64 zeigt in Anlehnung an Halata den Entwurf für die Anordnung der Informationen auf der Benutzeroberfläche des Instandhaltungsassistenzsystems.

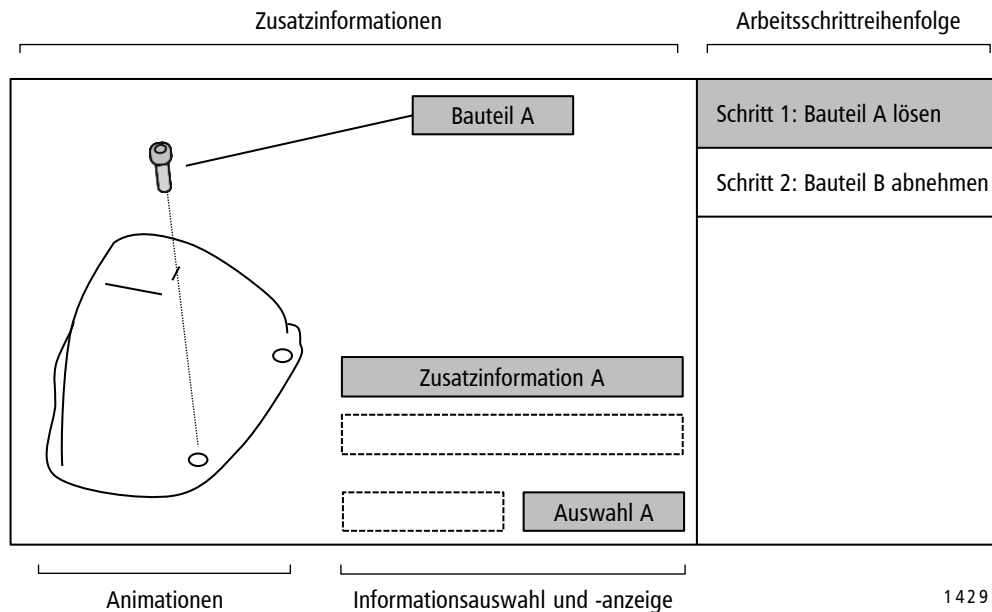


Abbildung 64: Entwurf für die Anordnung der grundlegenden Informationen über die Arbeitsschrittreihenfolge (rechts) und Zusatzinformationen (links) auf der Benutzeroberfläche des digitalen Instandhaltungsassistentensystems in Anlehnung an [Hala18, S. 63]

Die Arbeitsschrittreihenfolge (rechts) zeigt dem Nutzer die auszuführenden Handlungen mithilfe einer nummerierten Schrittliste. Der schriftliche Handlungstext setzt sich zusammen aus dem betroffenen Objekt und der Tätigkeit (vgl. Vorarbeiten aus Abschnitt 5.2.1). Zur Veranschaulichung und Verdeutlichung der Handlung werden dem Nutzer alle für den aktuell ausgewählten Arbeitsschritt relevanten Zusatzinformationen (links) eingeblendet. Aufwändige Suchprozesse durch den Nutzer finden damit nicht mehr statt (*Spatial-Contiguity-Effekt*).

Die eingeblendeten Zusatzinformationen unterteilen sich in dynamische und statische Inhalte. Arbeitsschrittrelevante Bauteile werden durch sog. *Highlighting* dynamisch hervorgehoben und mithilfe der eingeblendeten Bezeichnungen verdeutlicht (vgl. Abbildung 65 links). Damit wird für den Nutzer der Bezug zu der Handlung aus dem Arbeitsschritt hergestellt. Animationen der Bauteile verdeutlichen die auszuführende Tätigkeit. Weitere relevante statische Zusatzinformationen, wie z. B. erforderliche Hilfsmittel, werden dem Nutzer zur Auswahl im Menü aufgelistet. Bei Bedarf kann der Nutzer die Informationen abrufen (siehe dazu Abschnitt 5.3.3).

Erfahrene Nutzer benötigen die Zusatzinformationen häufig nicht mehr in vollem Umfang. Durch den vorgestellten Ansatz zur freien Auswahl und Wiedergabe der Informationen kann der Anwender die Inhalte nach seinem Wissensbedarf selbstständig steuern.

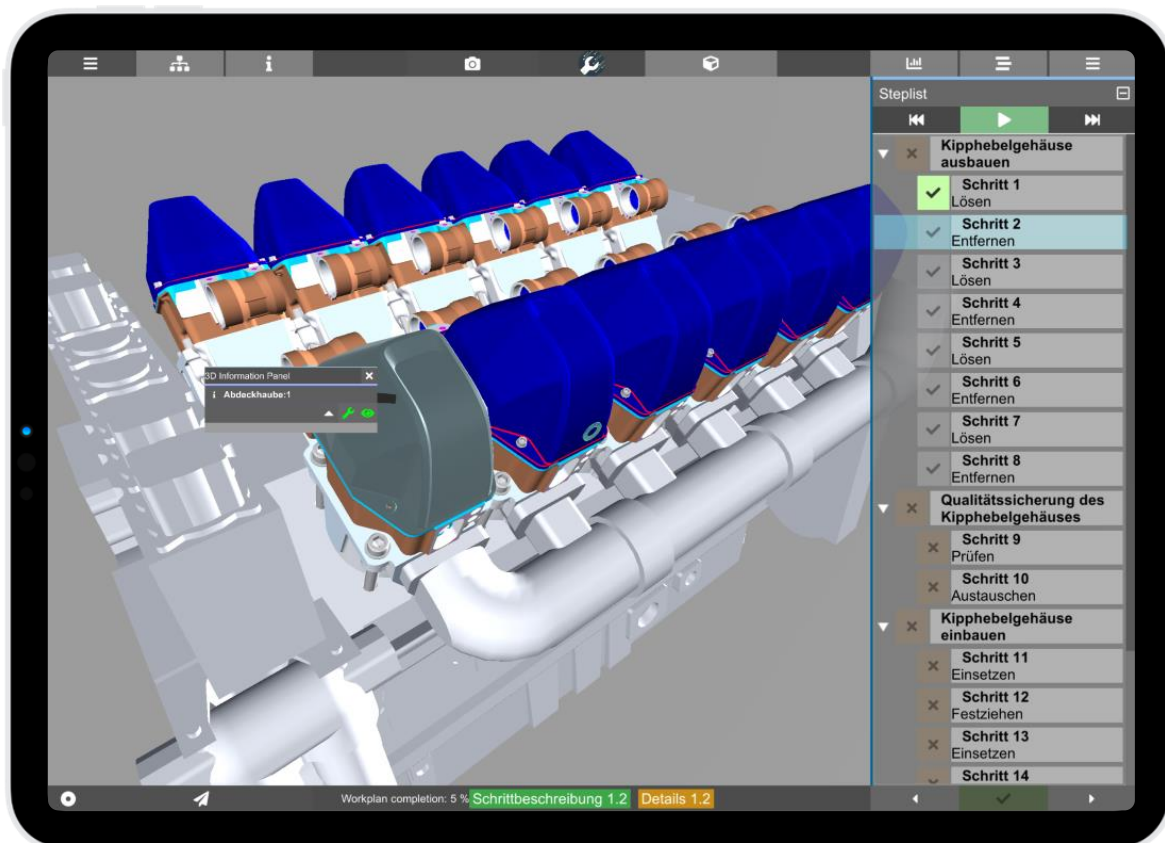
Wichtige Informationsinhalte, die aus gesetzlichen oder versicherungstechnischen Gründen darzustellen sind, wie z. B. Warnhinweise und Gefahrenmeldungen, werden immer angezeigt und ggf. besonders hervorgehoben, z. B. durch *Pop-ups* (siehe dazu Abschnitt 5.3.3).

5.3.3 Digitale Anleitungen

Ziel des mobilen Instandhaltungsassistenzsystems ist es, den Mitarbeiter bei der korrekten Durchführung der Dokumentation von Instandhaltungsaufgaben zu unterstützen. Die digitalen Anleitungen, angezeigt vom Assistenzsystem, führen den Mitarbeiter durch die Arbeitsvorgänge:

- Die Tablet-Applikation zeigt dem Nutzer die nächsten Arbeitsschritte an und markiert die betroffenen Bauteile.
- Parallel erscheinen wichtige Hinweise und Zusatzinformationen.
- Der Nutzer führt die De- und Montagetarbeiten oder Prüfarbeiten aus und dokumentiert per Druck auf den ausgewählten Arbeitsschritt gleichzeitig den Fortschritt.
- Bei Bedarf werden Fotos zur Dokumentation hinzugefügt sowie Werte oder Zustände zurückgemeldet.

Abbildung 65 zeigt die technische Umsetzung des Konzepts anhand der Benutzeroberfläche.



14292

Abbildung 65: Technische Umsetzung des digitalen Instandhaltungsassistenzsystems mit der Bauteilvisualisierung (links) und der Arbeitsschrittliste (rechts) in Anlehnung an [Melu20, S. 56]

Die Auflistung (rechts) visualisiert die Abfolge der Arbeitsschritte mit den entsprechenden Kurzbeschreibungen. Die 3D-Modell-Ansicht (rechts) verknüpft den aktuellen Arbeitsschritt mit dem betroffenen Bauteil, das dazu farblich hervorgehoben

wurde. Die Interaktion mit dem 3D-Modell über *Touch-Gesten* erlaubt dem Nutzer, das 3D-Modell beliebig auszurichten, um ein besseres Verständnis für das Produkt zu erhalten und dieses, in Anlehnung an die reale Perspektive vor Ort, anzupassen. Das Abspielen der Arbeitsschrittfolgen gibt dem Nutzer zu Beginn einen Überblick über die gesamte Aufgabe und verbessert sein Verständnis für die aufeinanderfolgenden De- und Montagetätigkeiten. Anschließend beginnt der Nutzer mit der Umsetzung der Maßnahmen und der Ausführung der einzelnen Arbeiten und Handgriffe. Dafür wählt er nacheinander die Arbeitsschritte aus und markiert über einen vorgesehenen *Button* die Fertigstellung.

Entscheidend für die korrekte Ausführung der einzelnen Arbeiten sowie den sicheren Umgang mit dem Produkt und den Baugruppen sind zusätzliche Hinweise und technische Angaben. Abbildung H im Anhang zeigt die beispielhafte Einblendung von arbeitsschrittrelevanten Zusatzinformationen auf dem Assistenzsystem.

Nach der Aktivierung des nächsten Arbeitsschrittes sieht der Nutzer unten mittig auf der Benutzeroberfläche des Assistenzsystems hinterlegte Zusatzinformationen. Diese sind in Kategorien eingeteilt, wie bspw. Werkzeuge, und als eigenständige Auswahlfelder hinterlegt.

Besondere Hinweise, die sicherheitsrelevante Aspekte oder Ähnliches berücksichtigen, werden von dem System zu Beginn des Arbeitsschrittes als *Pop-ups* eingeblendet. Bevor der Nutzer die Arbeitsschritte im System fortsetzen kann, muss die Kenntnisnahme des Hinweises bestätigt werden. Dies soll sicherstellen, dass die Mitarbeiter wichtige Hinweise berücksichtigen und sie nicht zwischen anderen Texten und Informationen übersehen. Die Bestätigung über die Kenntnisnahme der Hinweise kann im Systembericht dokumentiert werden (siehe dazu Abschnitt 5.3.5).

5.3.4 Augmented Reality

Insbesondere die Instandhaltungsmitarbeiter der Produktbetreiber führen die Instandhaltungsarbeiten nur sporadisch aus, sodass häufig bereits die Lokalisierung der zu demontierenden Teile aufwändig ist. Daher liegt es nahe, die Positionen der Bauteile mithilfe von Augmented-Reality-Technologie anzuzeigen. Dafür wird das Produkt über die integrierte Kamera und das Trackingsystem des Assistenzsystems erkannt und um virtuelle Geometrien und Informationen überlagert. Der Nutzer sieht im Anschluss auf der Benutzeroberfläche die Verknüpfung zwischen den realen und virtuellen Produktinformationen (vgl. Abbildung 66).

Während der Aufgabendurchführung hat der Nutzer zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit, in den *Augmented-Reality-Modus* zu wechseln. Die AR-Technologie unterstützt dabei insbesondere Aufgaben, bei denen dem Nutzer das konkrete Verständnis oder die Erfahrung mit dem Produktaufbau oder das Vorstellungsvermögen für den Ausbau der einzelnen Komponenten fehlen. Die Visualisierung mittels AR ermöglicht es, die Baugruppen und die zu demontierenden Bauteile aus unterschiedlichen Perspektiven der realen Umgebung zu betrachten und die aktuelle Demontageaufgabe nachvollziehbar zu machen.



14293

Abbildung 66: Nutzung der Augmented-Technologie auf dem digitalen Instandhaltungsassistenzsystem [Lödd21, S. 78]

Um die Ausbaurvorgänge oder die Handhabung von Werkzeugen erfahrbarer zu machen, hat der Nutzer die Möglichkeit, Animationen abzuspielen. Abbildung I im Anhang zeigt an einem einfachen Beispiel die Bewegung eines Hammers. Diese Animationen lassen sich auch auf komplexere Werkzeuge, wie bspw. Spezialvorrichtungen, überführen. Bei einfachen Aufgaben, wie bspw. dem Lösen von Schrauben oder dem Herausnehmen von Dichtringen, reichen in der Regel einfache Animationen (*Highlight-Effekte*) aus, um die Vorgänge zu veranschaulichen.

Die Komplexität und der Detaillierungsgrad der Animationen sind je nach Produkt, Anwendungsfall und Nutzergruppe zu definieren. Unerfahrene Nutzer benötigen anschaulichere Animationen als Experten. Insbesondere bei dem Einsatz des Assistenzsystems als digitale Technische Dokumentation ist es zielführend, wenn so viele Informationen wie möglich wiedergegeben werden.

5.3.5 Digitale Dokumentation

Die Protokollierung und Dokumentation der ausgeführten Arbeiten ist für die Auftragsabwicklung besonders relevant (vgl. Abschnitt 3.2.1). Die Dokumentation umfasst dabei die folgenden Inhalte:

- Maschinenwerte und -zustände
- Maßnahmen und Arbeitsschritte
- Rechtlich relevante Hinweise

Insbesondere bei Prüf- oder Inspektionsschritten müssen Maschinenwerte und -zustände von den ausführenden Technikern erfasst, protokolliert und dokumentiert werden. Im praktischen Alltag gestaltet sich das Berichtswesen besonders aufwändig, weil die Protokollwerte häufig händisch in die Papierlisten eingetragen und später im Büro in elektronische Dokumente und kommentierte Berichte überführt werden müssen. Das digitale Instandhaltungsassistenzsystem unterstützt den Nutzer, indem Maschinen- und Zustandswerte direkt in eine Eingabemaske eingegeben werden können (vgl. Abbildung J im Anhang).

Das digitale Protokoll kann beispielsweise an die Arbeitsvorbereitung oder an den Kunden abgesendet oder in einen elektronischen Bericht integriert werden. Die Erweiterung der digitalen Protokollierung mithilfe sog. *Smart-Tools* ermöglicht es, Prozesswerte automatisiert zu erfassen, sodass versehentliche Fehleingaben vermieden werden.

Der Nutzer bestätigt nach Fertigstellung des Arbeitsschrittes die Ausführung, sodass auch umfangreiche Arbeiten übersichtlich mit abgeschlossenen und nicht abgeschlossenen Arbeitsschritten vorliegen und eine vollständige Durchführung der Arbeiten sichergestellt ist.

In vielen Fällen werden die Maßnahmen-Protokolle bereits heute um eine zusätzliche Fotodokumentation des Produktes, der Baugruppen und der Maschinensituation vor Ort erweitert. Dafür erstellen die Mitarbeiter am Instandhaltungsobjekt mit einer separaten Kamera Fotos und überführen diese anschließend auf den mitgeführten Laptop-PC. Je nach Umfang der Arbeiten fällt die Anzahl der Fotos sehr hoch aus. Diese müssen im Anschluss aufwändig herausgesucht und an den entsprechenden Stellen im Bericht platziert werden.

Um die Umstände einer aufwändigen manuellen Fotodokumentation zu vermeiden, verknüpft das digitale Assistenzsystem angelegte Fotos direkt mit dem aktuellen Prüf- bzw. Inspektionsschritt.

Die detaillierte Quittierung der Arbeitsschritte bildet zudem die Grundlage für die Fakturierung durchgeführter Maßnahmen. Sind die Arbeitsschritte mit Kostensätzen hinterlegt, vereinfacht sich die Rechnungsstellung. Diese Aspekte fallen jedoch nicht in den Fokus der vorliegenden Arbeit. Auch die Evaluation des digitalen Instandhaltungsassistenzsystems (siehe dazu Abschnitt 6) konzentriert sich ausschließlich auf die Visualisierung von digitalen Anleitungen und die damit verbundenen Produktivitätswirkungen.

5.4 Verwaltung digitaler Anleitungen

Die Verwaltung der Informationsinhalte ist entscheidend für einen schnellen und einfachen Zugriff auf die relevanten Daten. Ausgehend von der übergeordneten Rolle der Informationsverwaltung ist dafür zu sorgen, dass sowohl die Mitarbeiter als auch die bestehende IT des Unternehmens einbezogen werden, um die Informationen strukturiert bereitzustellen. Auch die Wiederverwendung der bestehenden Daten nimmt Einfluss auf die Prozesseffizienz. Abbildung 67 fasst die entscheidenden Teilaspekte der Informationsverwaltung zusammen. Diese werden in Anlehnung an Meluzov et al. [Melu20, S. 53 ff.] in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

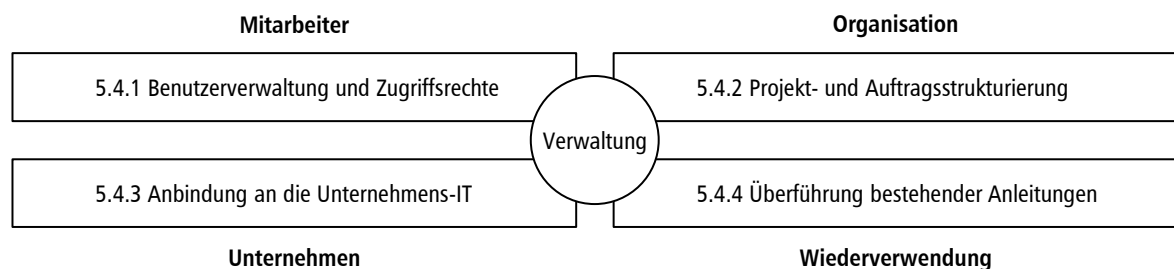


Abbildung 67: Überblick über die Teilaspekte der Informationsverwaltung in Anlehnung an [Melu20, S. 53 ff.]

5.4.1 Benutzerverwaltung und Zugriffsrechte

Die Steuerung der Zugriffsrechte erlaubt einen kontrollierten Zugriff auf das System. Der *Identity Provider* (vgl. Abschnitt 4.2 für den Systemaufbau) ist die zuständige Instanz. Das Modul ist als generischer Baustein auszulegen, damit bereits existierende, unternehmensinterne Lösungen eingesetzt werden können. Dadurch können sich die Anwender mit ihren gewohnten Benutzerkonten in sämtlichen Anwendungen des Gesamtsystems anmelden.

Die Nutzerdaten, die für jeden Anwender personalisiert angelegt sind, setzen sich zusammen aus der Identifikation des Nutzers (wahlweise der Benutzername oder die E-Mail-Adresse) und einem geschützten Passwort.

Nach der Authentifizierung erhält der Nutzer über die Benutzeroberfläche Zugang zu dem System (vgl. Abbildung 70). Entsprechend der hinterlegten Rolle und den zugeordneten Rechten kann der Benutzer die Daten einsehen und bearbeiten.

Ein entsprechendes Anmeldeverfahren gilt auch für die Redaktionsanwendung zur Erstellung der Anleitungen sowie für die mobilen Endgeräte zur Visualisierung der Wartungsaufgaben.

Nach der Anmeldung sieht der Anwender sämtliche Projekte mit den hinterlegten Anleitungen sowie Daten. Diese können zu jedem Zeitpunkt synchronisiert werden, um den aktuellen Stand aus der Technischen Redaktion abzurufen und herunterzuladen. So sind die Daten auch im Fall einer fehlenden Internetverbindung auf dem Endgerät verfügbar.

5.4.2 Projekt- und Auftragsstrukturierung

Um digitale Schritt-für-Schritt-Anleitungen (organisiert in Projekten) zu erstellen, sind unterschiedliche Daten erforderlich (Abbildung 68):

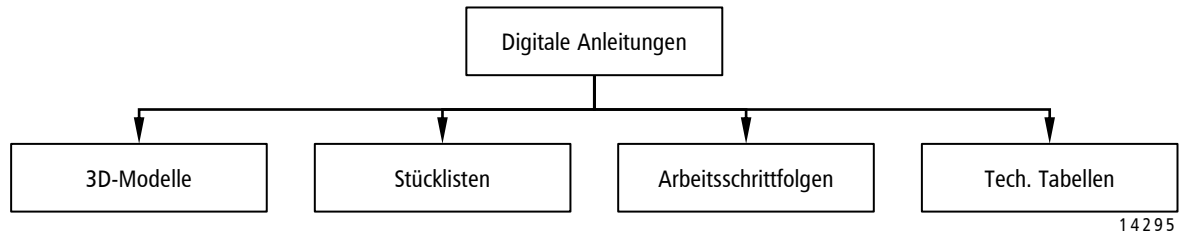


Abbildung 68: Aufbau digitaler Anleitungen als Projektstruktur

3D-Modelle bilden die Ausgangsdatengrundlage der digitalen Anleitungen. Gegenüber herkömmlichen (papierbasierten) Dokumenten ersetzen sie aufwändige Zeichnungen und veranschaulichen das Instandhaltungsobjekt aus unterschiedlichen Perspektiven. Stücklisten verknüpfen die 3D-Geometrien mit den richtigen Teilebezeichnungen und strukturieren den Aufbau der Baugruppen und des Produktes. Arbeitsschrittfolgen binden die 3D-Modelle in den Arbeitsplan ein und ergänzen Beschreibungen der einzelnen Arbeitsschritte. Technische Tabellen ergänzen die 3D-Modelle um relevante Zusatzinformationen, die für gewöhnlich in Tabellen oder Listen festgehalten sind.

Um den Zugriff auf die digitalen Anleitungen zu erleichtern, sollten diese strukturiert nach Produkt und Auftrag verwaltet werden (Abbildung 69).

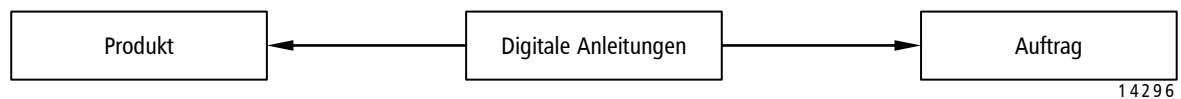


Abbildung 69: Zuordnungskriterien digitaler Anleitungen

Diese Zuordnungskriterien ermöglichen es dem Endanwender, die Anleitungen für die Instandhaltungsarbeiten abzurufen. Je nach Art der Instandhaltungstätigkeit wählt er die Anleitungen über eine Auftragsnummer oder über ein referenziertes Produkt aus einem Instandhaltungsplan aus.

Eine Benutzeroberfläche erlaubt es dem Anwender, projektrelevante Daten für die digitalen Anleitungen zusammenzustellen (Abbildung 70).

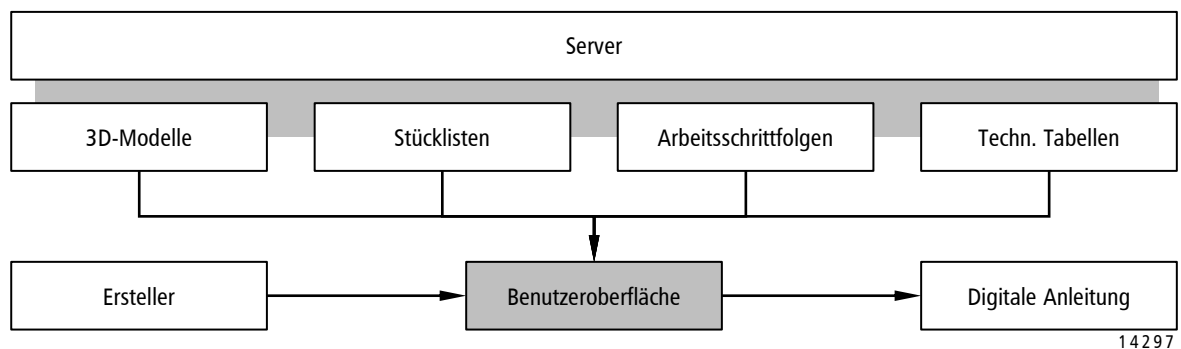


Abbildung 70: Vereinfachter Datenzugriff über eine Benutzeroberfläche

5.4.3 Anbindung an die Unternehmens-IT

Das Gesamtsystem könnte zwar autark genutzt werden. In diesem Fall würden Aufträge, Projekte, CAD-Modelle und Dokumente mithilfe des *Directors* angelegt, bearbeitet und gelöscht werden. Diese Daten, wie z.B. Aufträge, werden jedoch in anderen (unternehmensspezifischen) Systemen (ERP) bereits gepflegt.

Um Überschneidungen zu vermeiden, ist es sinnvoll, mithilfe der Komponente *Logic Provider* des *Backends* (vgl. Abbildung 28) Routinen zur Synchronisation der jeweiligen Daten aus der Unternehmens-IT einzurichten.

Auch der Umgang mit den CAD-Modellen verläuft nach demselben Ansatz, wobei ein vorgelagerter Arbeitsschritt zur Vorbereitung der Daten für den *Creator* ergänzt werden muss. Wenn die Leistungsfähigkeiten mobiler Endgeräte nicht ausreicht, um größere Modelle in Echtzeit aus dem CAD-System zu laden und vollständig anzuzeigen, müssen die 3D-Modelle zunächst aufbereitet werden. Die Vorverarbeitung unterteilt sich je nach Größe und Format der Modelle ggf. in mehrere Schritte. Die Komponente *Storage Provider* stellt für die abschließende Ablage der Modelle eine Datenbank bereit.

5.4.4 Überführung bestehender Anleitungen

Um Aufwände in der Inhaltserstellung zu vermeiden (Anforderung E3), müssen wiederverwendbare Inhalte nach Möglichkeit für neue Anleitungen übernommen werden. Dafür greifen Unternehmen auf sog. Content-Management-Systeme (CMS) zurück. Auch im Zuge der Digitalisierung von Anleitungen gilt das Prinzip der Wiederverwendbarkeit für neue Projekte. Dies gilt sowohl für die Wiederverwendung von Standard-Textpassagen, sog. Textmodulen, bei ähnlichen Produktvarianten und Dokumenten als auch für die Übernahme weiterer Inhalte aus den Papieranleitungen für ein digitales Format.

Ziel der Überführung bestehender Anleitung ist die Entlastung der Technischen Redakteure durch eine Vorlage, die bei Bedarf um weitere dynamische Inhalte, wie z. B. Animationen, erweitert werden kann. Abbildung 71 skizziert den Prozess der Übernahme von in Datenform vorgelegten Papieranleitungen für mobile Instandhaltungsassistenzsysteme.

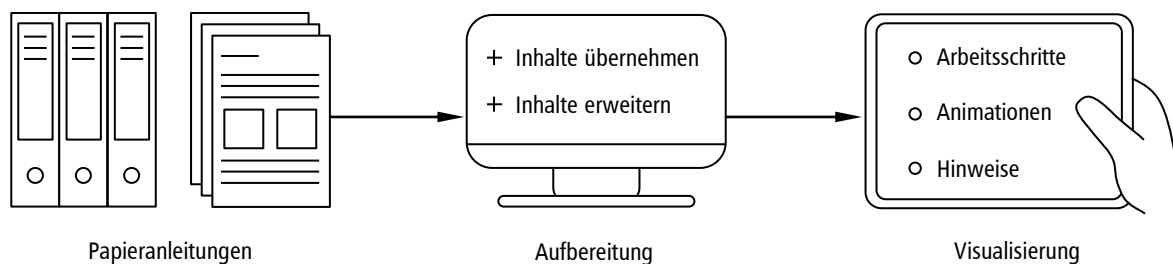


Abbildung 71: Prozessskizze für die Wiederverwendung von Inhalten aus Papieranleitungen

Die Aufbereitung der überführten Inhalte für die abschließende Visualisierung auf der mobilen Tablet-Anwendung (siehe dazu Abschnitt 5.3) erfolgt über die Benutzeroberfläche des *Directors* und des *Creators* (siehe dazu Abschnitt 5.2).

Für die Konvertierung der Papieranleitungen müssen bestimmte Voraussetzungen und Anforderungen erfüllt werden:

- Die Anleitungen müssen in einem lesbaren Textformat, wie z. B. .docx oder .xml, vorliegen oder in ein ähnliches Format überführbar sein, damit die einzelnen Textinhalte im Dokument erkannt und zugeordnet werden können.
- Die zu überführenden Dokumente und Anleitungen müssen zu Beginn, entsprechend dem Arbeitsumfang, festgelegt werden, um nur die (Projekt-)relevanten Inhalte zu überführen.
- Die Erkennung sollte nach Möglichkeit die ausgewählten Anleitungen und Inhalte vollständig und korrekt erfassen, um manuelle Nacharbeit zu vermeiden. Hierfür sind entweder praxistaugliche Fertiglösungen der Texterkennung einzusetzen oder kundenindividuelle Anpassungen zu entwickeln.
- Die Überführung und Zuordnung der korrekt erkannten Texte muss nach einer vordefinierten Logik erfolgen, sodass die Inhalte in die korrekten Platzhalter des Zielformates überführt und benutzergerecht visualisiert werden.

Abbildung 72 zeigt den Ablauf zur Datenkonvertierung:

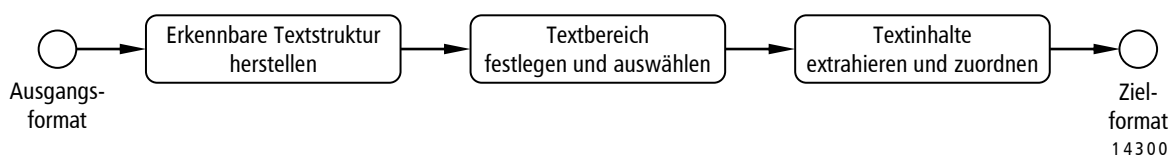


Abbildung 72: Ablauf zur Datenüberführung zur Visualisierung auf digitalen Assistenzsystemen in Anlehnung an [Schm20, S. 10 ff.]

Im Idealfall liegen die Papieranleitungen in einem nativen Format vor, sodass die enthaltenen Texte, wie z. B. Überschriften oder Aufzählungen, durch Metainformationen deklariert sind. Nach der Festlegung und Auswahl der für das aktuelle Projekt relevanten Textbereiche werden die Inhalte durch geeignete Verfahren extrahiert und dem Datenmodell des Zielformates zugeordnet. Zur technischen Umsetzung eignen sich Verfahren aus der Softwareentwicklung, wie bspw. *Regular Expression (RegEx)*. Das Verfahren ist in der Lage, Zeichenketten, wie z. B. Verben, innerhalb der Texte bzw. Arbeitsschrittbeschreibungen zu erkennen und herauszufiltern. In Instandhaltungsanleitungen kann das Verfahren Überschriften der Anleitungen, Aufzählungen der Arbeitsschritte sowie die darin vorkommenden Tätigkeiten erkennen. Das Ergebnis ist eine Auflistung der Informationen in den Platzhaltern des Zielformates. Der Redakteur kann diese Informationen als Vorlage nutzen, um digitale und animierte Anleitungen zu erstellen (auch automatisiert, siehe dazu Abschnitt 5.2.4).

6 Evaluation

Um zu überprüfen, ob das Konzept der vorliegenden Arbeit die Anforderungen erfüllt, untersucht das folgende Kapitel die Eignung der entwickelten Prototypen anhand verschiedener industrieller Anwendungsbeispiele. Das Ziel der Evaluation ist die fachgerechte Bewertung der Produktivität, der Praxistauglichkeit sowie der Potenziale der prototypisch umgesetzten Softwaredemonstratoren. Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen zeigen auf, ob und unter welchen Voraussetzungen das digitale Informationsmanagement der herkömmlichen papierbasierten Informationsbereitstellung überlegen ist.

In unterschiedlichen Versuchen und Befragungen mit verschiedenen Personengruppen wurden die Anforderungen evaluiert und anhand vordefinierter Messgrößen methodisch geprüft. Hierzu wurden zwei industrielle Anwendungsbeispiele herangezogen (vgl. Abschnitt 6.1). Abbildung 73 gibt einen Überblick über die Zuordnung der Anforderungen zu den Messgrößen, Versuchen und Methoden.

| Anforderung | Messgröße | Versuch | Methode |
|--|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Informationsorganisation | | | |
| O1: Ganzheitlicher Informationsaufbau | Vollständigkeit | - | Argumentation |
| O2: Strukturierte Projektorganisation | Nachvollziehbarkeit | - | Argumentation |
| Aufwandsarme Inhaltserstellung | | | |
| E1: Verbesserung der Planung | Zustimmung | Praxis | Befragung |
| E2: Einfache Erstellung von Texten und Verweisen | Erstellungszeit | Praxis; Labor | Argumentation; Befragung |
| E3: Aufwandsarme Animationsgenerierung | Erstellungszeit | Labor | Messung |
| Anwendergerechte Inhaltsvisualisierung | | | |
| V1: Vermeidung von Suchaufwänden | Informationszeit | Praxis; Labor | Messung |
| V2: Vermeidung von Ausführungsfehlern | Fehleranzahl | Labor | Messung |
| Praxistauglichkeit | | | |
| P1: Produktiver Einsatz | Bearbeitungszeit | Praxis; Labor | Messung |
| P2: Nutzerzufriedenheit | Zustimmung | Praxis; Labor | Befragung |

14301

Abbildung 73: Übersicht über die Anforderungen an das Konzept der Arbeit sowie die Zuordnung zu den Messgrößen, Versuchen und Methoden

6.1 Industrielle Anwendungsbeispiele

Für die Erprobung und Beurteilung der prototypisch umgesetzten Software wurden zwei Produkte und Instandhaltungsaufgaben aus dem Maschinen- und Anlagenbau ausgewählt, die auch als Anwendungsbeispiele während der Konzeptentwicklung verwendet wurden. Für einen umfassenden Einsatz der entwickelten Software wurden die Anwendungsbeispiele so ausgewählt, dass sowohl einfachere Instandhaltungsmaßnahmen (am Beispiel eines Kompressors) als auch komplexere Instandhaltungsmaßnahmen (am Beispiel eines Antriebmotors) berücksichtigt werden.

6.1.1 Kompressor

Kompressoren werden eingesetzt, um für den Start eines Antriebmotors von Schiffen ausreichend Luft bereitzustellen. Je nach Schiffsgröße und Anwendungsfall unterscheiden sich die Kompressoren in der konstruktiven Auslegung zur Erreichung der gewünschten Leistungen. Abbildung 74 zeigt beispielhaft einen auf dem Schiff eingebauten Kompressor.

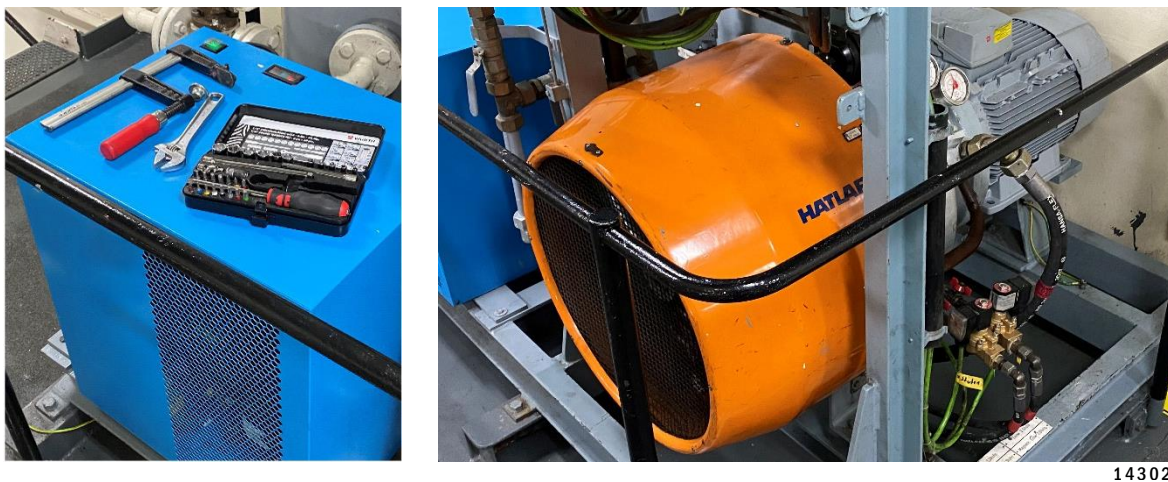


Abbildung 74: Beispielhafte Einblicke in die Instandhaltung eines Kompressors

Die Instandhaltung der Kompressoren erfolgt je nach Betreiber der Schiffe und Vertragslage entweder durch die technische Bordbesatzung oder durch Servicemitarbeiter der Herstellerfirmen. Aufgrund der geringen Produktkomplexität entscheiden sich jedoch viele Betreiber, die Instandhaltungsarbeiten durch die Mechaniker der eigenen Bordbesatzung durchzuführen.

Die Auswahl des Kompressors als Anwendungsbeispiel und Wartungsobjekt hat für die vorliegende Arbeit entscheidende Vorteile:

Aufgrund der Größe und des Gewichtes kann der Kompressor in einer Laborumgebung aufgebaut werden, um De- und Montageversuche mit unterschiedlichen Probanden durchzuführen, ohne dafür jedes Mal eine reale Schiffsumgebung betreten zu müssen und von den Liegenzeiten oder der Verfügbarkeit abhängig zu sein. Der Aufwand für die De- und Montage der Einheiten ist aufgrund der Produktgröße vergleichsweise gering, sodass auch mehrere Versuche am Objekt durchgeführt werden können, ohne sehr viel Zeit in Anspruch zu nehmen.

Die Auslieferung des Kompressors an den Kunden erfolgt gemeinsam mit einer umfangreichen technischen Papierdokumentation und den darin enthaltenen Wartungs- und Reparaturanleitungen, sodass auch die entsprechenden Untersuchungen in den indirekten Bereichen und in der Inhaltserstellung durchgeführt werden können.

6.1.2 Antriebsmotor

Um die Tauglichkeit des entwickelten Systems auch hinsichtlich komplexerer Produkte mit einer höheren Anzahl an Komponenten zu untersuchen, wurde ein Antriebsmotor für mittelgroße bis große Schiffe ausgewählt. Der Motor ist aufgrund der Größe stationär in einer Trainings- und Ausbildungsakademie eines Herstellers für Antriebssysteme aufgebaut und bietet damit geeignete Bedingungen zur Durchführung der Untersuchungen für unterschiedliche Anwendergruppen (wie bspw. ausgebildete Mechaniker und Techniker sowie Auszubildende). Der Umfang der Arbeiten, die an dem Motor simuliert werden können, ermöglicht auch Wartungs- und Reparaturmaßnahmen mit großem Informationsbedarf, sodass das digitale Instandhaltungsinformationssystem umfassend getestet werden kann. Abbildung 75 gibt beispielhafte Einblicke in die Instandhaltung eines Antriebsmotors.



14303

Abbildung 75: Beispielhafte Einblicke in die Instandhaltung eines Antriebsmotors

Für die Durchführung der Arbeiten liegen in der Akademie Zeichnungen und Papieranleitungen vor, sodass die verschiedenen Informationsmedien (Papier und Digital) gegenübergestellt werden können. Techniker und Trainer mit langjähriger Erfahrung haben die Prototypen bewertet, sowohl in den direkten Bereichen (Akademie) als auch in den indirekten Bereichen (Technische Redaktion).

Abbildung 76 gibt zusammenfassend einen Überblick über die Versuche und Anwendungsbeispiele.

| Anwendungsbeispiel | Schwierigkeitsgrad | Versuchsort | Schwerpunkt |
|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|
| Kompressor | einfach | Laborumgebung | Produktivität |
| Antriebsmotor | aufwändig | Einsatzort | Praxistauglichkeit |

14304

Abbildung 76: Übersicht über die Versuche und Anwendungsbeispiele

6.2 Produktivitätsuntersuchungen im Labor

Ziel der Untersuchungen ist es, die Produktivitätseffekte zu beurteilen, die sich aus den veränderten Abläufen in der Technischen Redaktion (Abschnitt 6.2.1) und der eigentlichen Instandhaltung (Abschnitt 6.2.2) ergeben. Dafür wurden zunächst in insgesamt 80 Versuchen mit 46 Studenten und Doktoranden ohne Instandhaltungserfahrung sowohl die Eignung als auch die prinzipiellen Einsparpotentiale durch das neue System am Anwendungsbeispiel Kompressor ermittelt. Anschließend wurde das System (siehe dazu Abschnitt 6.3) mit Servicespezialisten und Technischen Redakteuren am Beispiel des Antriebsmotors evaluiert. Abbildung 77 gibt einen Überblick über die Produktivitätsuntersuchungen am Kompressor.

| Versuche | Eingesetzte Systeme | Messgröße |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| R1: Erstellung von Anleitungen | Redaktionssystem; Desktop Creator | Erstellungszeit |
| R2: Erstellung von Animationen | Desktop Creator; VR Creator | Erstellungszeit |
| R3: Anwendung von Anleitungen | Papier; Visualizer | Informationszeit; Fehleranzahl |

14305

Abbildung 77: Übersicht über die Versuche zur Erfassung der Produktivität

6.2.1 Informationserstellung

Ziel des Versuchs zur Informationserstellung war die zeitliche Einsparung durch den Einsatz des *Desktop Creators* im Vergleich zu den konventionellen text- und bildbasierten Redaktionssystemen (R1) zu erfassen. Der zweite Versuch vergleicht die Untersuchung zur Animationserstellung mithilfe des *Desktop Creators* und des *Virtual Reality Creators* (R2).

Für den ersten Versuch (R1) sollten die Teilnehmer (n=8) in insgesamt zwei Durchläufen jeweils eine typische Anleitung mit mehreren Arbeitsschritten mithilfe eines herkömmlichen Redaktionssystems und dem *Desktop Creator* anlegen. Zur Unterstützung bei der Beschreibung der Handlungsanleitungen standen den Teilnehmern Videos der Instandhaltungsarbeiten, Datenblätter sowie Formatvorlagen, in Anlehnung an die reale Vorgehensweise, zur Verfügung. Die Anleitungen waren jeweils angelehnt an die reale Technische Dokumentation des Kompressors. Um Lerneffekte zu vermeiden, wurden unterschiedliche Arbeitsschritte mit vergleichbarem Schwierigkeitsgrad verwendet. Auch die Einführung in die Aufgabe und die beiden Systeme erfolgte unter Anwendung einer separaten Anleitung. Abbildung 78 zeigt die zeitliche Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

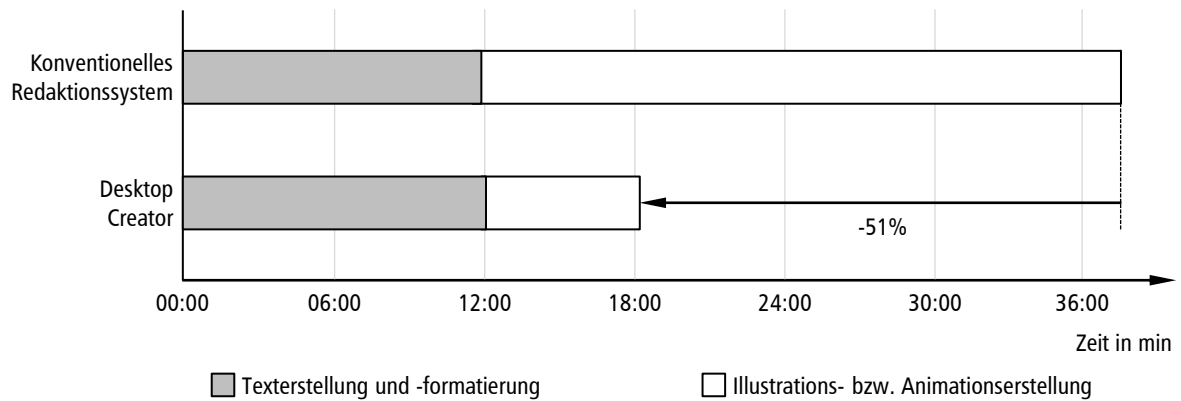


Abbildung 78: Auswertung der Versuche zur Inhaltserstellung nach [Melu19b, S. 192]

Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigt die Gegenüberstellung der eingesetzten Systeme und die zeitliche Aufteilung der Redaktionsaufgaben. Dabei sinkt der gesamte Erstellungsaufwand mit dem *Desktop Creator* gegenüber dem konventionellen Redaktionssystem um etwa die Hälfte (51 Prozent), der Aufwand für die Illustrations- und Animationserstellung sogar um nahezu 80 Prozent. Nachträgliche Auswertungen der zeitlichen Werte erlauben, diese Aussage statistisch signifikant zu untermauern. Die starke Aufwandsreduzierung ist inhaltlich plausibel, weil der *Desktop Creator* die Geometrien des CAD-Modells ohne manuelle Bearbeitungsschritte verwenden kann.

Eine detaillierte Betrachtung der Ergebnisse lässt ebenfalls feststellen, dass die Zeitanteile für die Texterstellung und -formatierung in beiden Versuchen nahezu gleich ausfallen. Ursache dafür ist die Tatsache, dass die Teilnehmer in beiden Systemen die Handlungsanleitungen bzw. die Arbeitsschrittbeschreibungen gleichermaßen ausformulieren sollten. Weil die mit dem *Desktop Creator* erzeugten Handlungsanleitungen die Arbeitsschritte anschaulich darstellen, ist davon auszugehen, dass ausführliche Beschreibungen in der Regel kaum noch erforderlich sein werden. In diesem Fall würde der Gesamtaufwand auf weniger als ein Sechstel des Aufwandes mit dem konventionellen Redaktionssystem sinken. Sollte ein Verzicht auf die Texte nicht möglich sein, kann der in Abschnitt 5.2.4 vorgestellte Ansatz zur automatischen Generierung der Arbeitsschrittbeschreibungen den Aufwand zur Texterstellung und -formatierung reduzieren.

Der zweite Versuch (R2) diente zum Vergleich der beiden Anwendungen *Desktop Creator* und *Virtual Reality Creator* für die Erstellung von Animationen. Ziel der Untersuchung war es, die Erstellungszeit für komplexe Animationen zur Verdeutlichung von Nicht-Standard-Handlungen zu ermitteln (siehe dazu Abschnitt 5.2.8).

Nach einer ausführlichen Einführung in die beiden Anwendungen und in die Funktionalität zur Animationserstellung sollten die Teilnehmer jeweils eine ausgewählte Animation erzeugen. Während der Erstellung wurde die erforderliche Bearbeitungszeit aufgenommen und festgehalten. Abbildung 79 zeigt die Auswertung der Versuchsergebnisse.

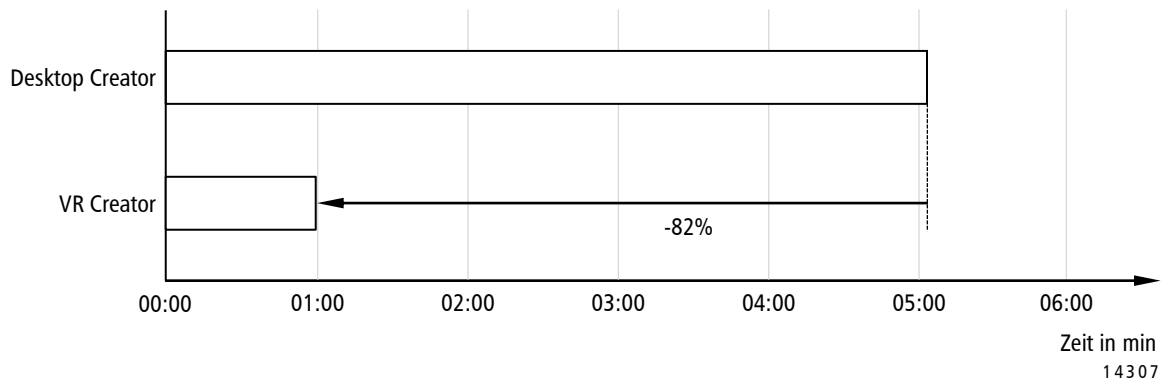


Abbildung 79: Auswertung der Versuche zur Animationserstellung in Anlehnung an [Mund19, S. 90]

Nach einer Untersuchung der Versuchsergebnisse auf statistische Signifikanz konnten die Ergebnisse wie folgt interpretiert werden: Komplexe Animationen lassen sich mit dem *Virtual Reality Creator* signifikant schneller erstellen als mit dem *Desktop Creator*. Die an die Versuchsdurchführung anschließenden Interviews der Teilnehmer zu den beiden Systemen machen deutlich, dass die Teilnehmer insbesondere die intuitive Aufnahme der Animationen mithilfe der 3D-Controller in Virtual Reality als vorteilhaft empfinden. Gegenüber dem *Desktop Creator* waren deutlich weniger Stützpunkte zur Aufnahme der einzelnen Animationssequenzen erforderlich [Mund19, S. 91].

6.2.2 Informationsanwendung

Um die Produktivität des digitalen Instandhaltungsassistenzsystems in den direkten Bereichen zu ermitteln, stellt Versuch R3 die Arbeit mit dem *Visualizer* den herkömmlichen Anleitungen in Papierform gegenüber. Hierfür sollten die Teilnehmer (n=16) in zwei Durchläufen Wartungsaufgaben am Kompressor durchführen, unter Anwendung der zwei unterschiedlichen Informationsformate (Papier und Software). Vor Versuchsbeginn erhielten alle Teilnehmer eine Einweisung zum mechanischen Umgang mit dem Kompressor sowie zur richtigen Anwendung der zwei verschiedenen Informationsformate. Während der Versuchsdurchführung konnten die Teilnehmer entscheiden, welche Softwarefunktionalität (z. B. Augmented Reality oder CAD-Modus) sie nutzen, um die für die Aufgabendurchführung erforderlichen Informationen zu verwenden.

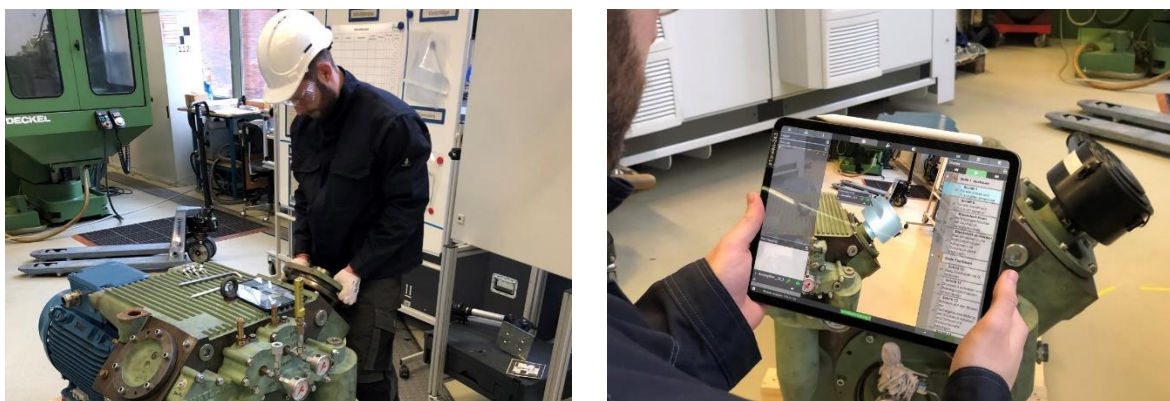


Abbildung 80: Einblicke in die Testumgebung [Melu19b, S. 195]

14308

Um Lerneffekte zwischen den beiden Durchläufen zu vermeiden, wurden zwei unterschiedliche Wartungsaufgaben mit dem gleichen Arbeitsumfang und Schwierigkeitsgrad ausgewählt. Für die Versuchsauswertung wurden die Versuche mit einer Videokamera aufgezeichnet und mithilfe einer Software ausgewertet, um die Zeiten für die mechanischen und die informatorischen Tätigkeiten zu ermitteln. Abbildung 81 zeigt die Ergebnisse der Auswertung aus den Versuchen. Insgesamt verlief die Ausführung der Wartungsaufgaben mit dem *Visualizer* 15 Prozent schneller als mithilfe der konventionellen Papieranleitungen. Bezogen auf die informatorischen Tätigkeiten entspricht dies etwa einer Reduzierung von 35 Prozent.

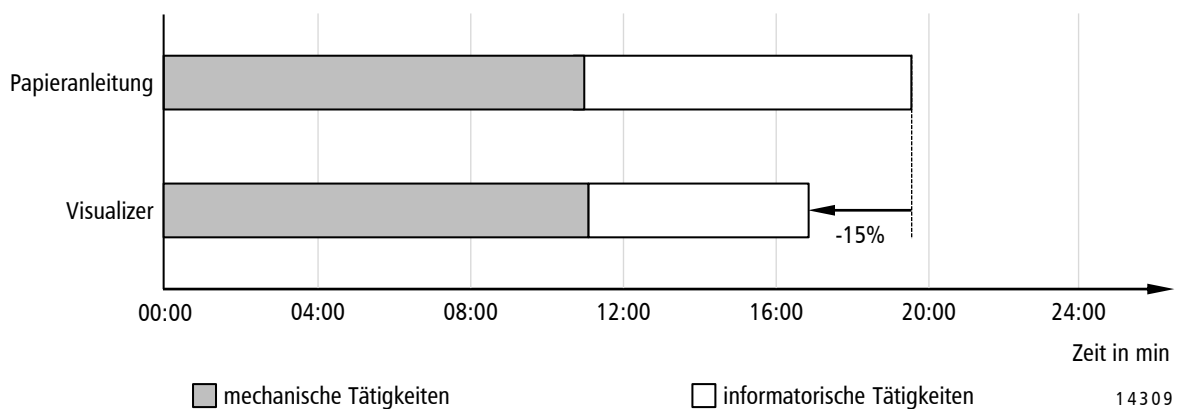


Abbildung 81: Durchführung von Wartungsaufgaben mit unterschiedlichen Informationsformaten [Melu19b, S. 193]

Die Aufschlüsselung der jeweils erforderlichen Zeiten zur Durchführung der Wartungsaufgabe in die beiden Tätigkeitsgruppen zeigt wie erwartet, dass die Auswahl des Anzeigeformates nur Einfluss auf die informatorischen Tätigkeiten nimmt.

Abbildung 82 geht in einer zweiten Auswertung der Ergebnisse näher auf die informatorischen Tätigkeiten ein, indem die Kategorien „Anleitungen lesen und sichten“ sowie „Zusatzinformationen suchen“ unterschieden werden.

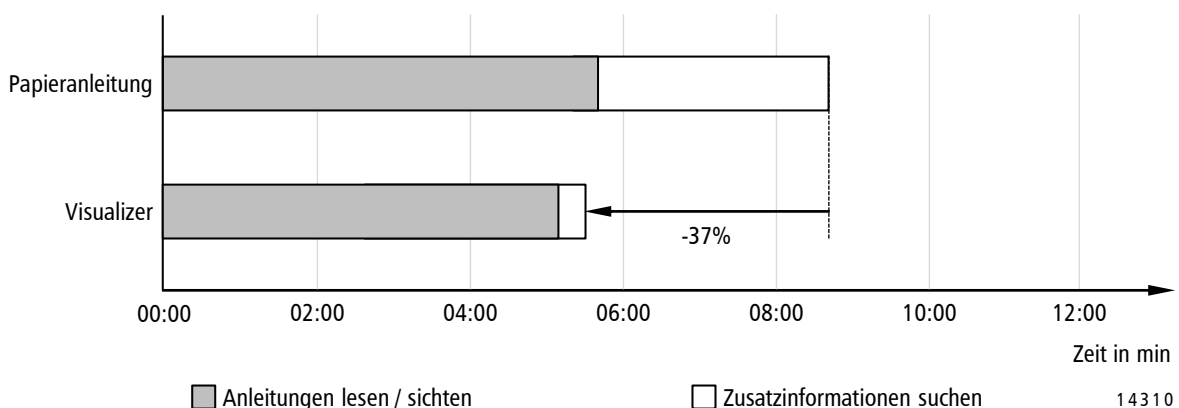


Abbildung 82: Handhabungsaufwände unterschiedlicher Informationsformate [Melu19b, S. 193]

Insgesamt können die informatorischen Tätigkeiten durch die Anwendung des *Visualizers* gegenüber den Papieranleitungen um 37 Prozent reduziert werden. Eine nähere Betrachtung der Kategorien zeigt, dass mithilfe des *Visualizers* die Probanden im Schnitt deutlich weniger nach Informationen suchen und dadurch Zeit einsparen.

Ergänzend zum zeitlichen Aufwand der beiden Informationsformate wurde ebenfalls die Ausführungsqualität gemessen. Dafür wurden während der Aufgabendurchführung bei den Probanden die Ausführungsfehler, wie z. B. die falsche Zuordnung von Bauteilen, Hilfsmitteln oder technischen Daten, erfasst. Abbildung 83 zeigt die Anzahl der Ausführungsfehler über der Anzahl der Probanden.

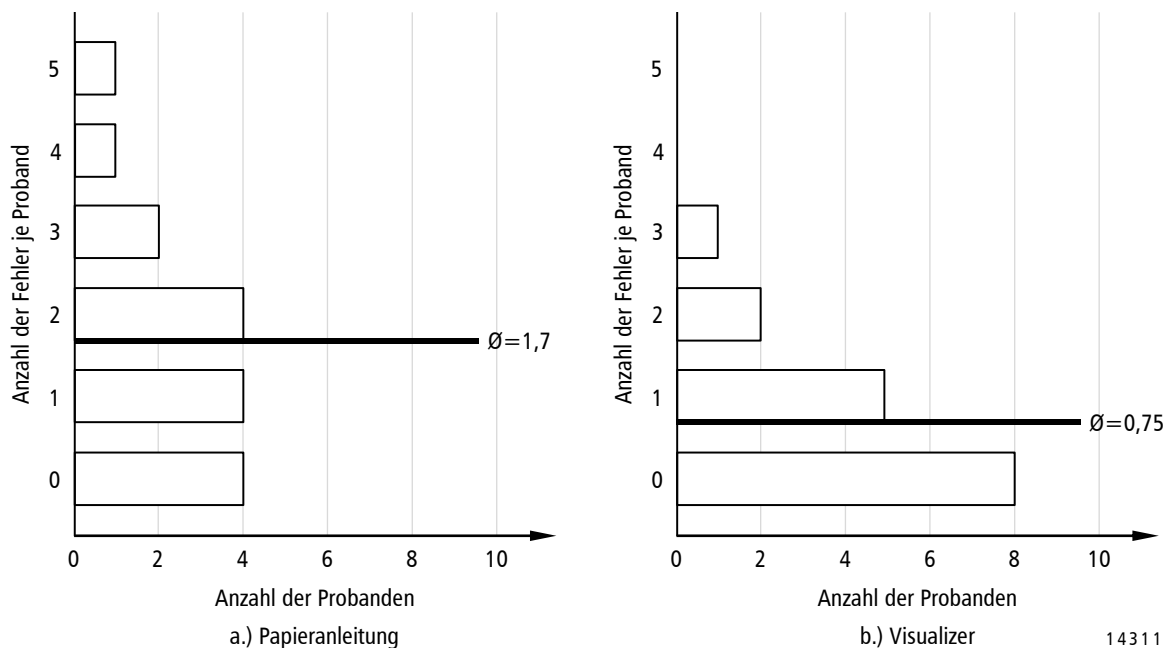


Abbildung 83: Ausführungsfehler [Melu19b, S. 194]

Die Untersuchungen der Auswertungen zeigen, dass den Probanden während der Anwendung der Papieranleitungen (Abbildung 83 a) signifikant mehr Fehler unterlaufen sind als mit dem *Visualizer* (Abbildung 83 b). Die Anzahl der Probanden, die die Aufgaben fehlerfrei durchführen, hat sich mit dem Visualizer von vier auf acht erhöht

Auch die Zufriedenheit der Nutzer mit den eingesetzten Informationen ist ein wichtiges Kriterium. Zur Erfassung der Nutzerakzeptanz wurden die Probanden im Anschluss an die Versuche nach ihrer Zustimmung hinsichtlich ausgewählter Kriterien gefragt. Die Auswahl der Kriterien sowie der Bewertungssystematik folgt dem *System-Usability-Scale-Standard* [Broo96, S. 189 ff.]. Diese Methode nutzt einen technologieunabhängigen Fragebogen, sodass die Papieranleitung und der *Visualizer* hinsichtlich der Nutzerzufriedenheit einheitlich gegenübergestellt werden können. Abbildung 84 zeigt die Auswertung der Ergebnisse aus den Fragebögen zur Nutzerzufriedenheit. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte auf einer Skala von 0 bis 100.

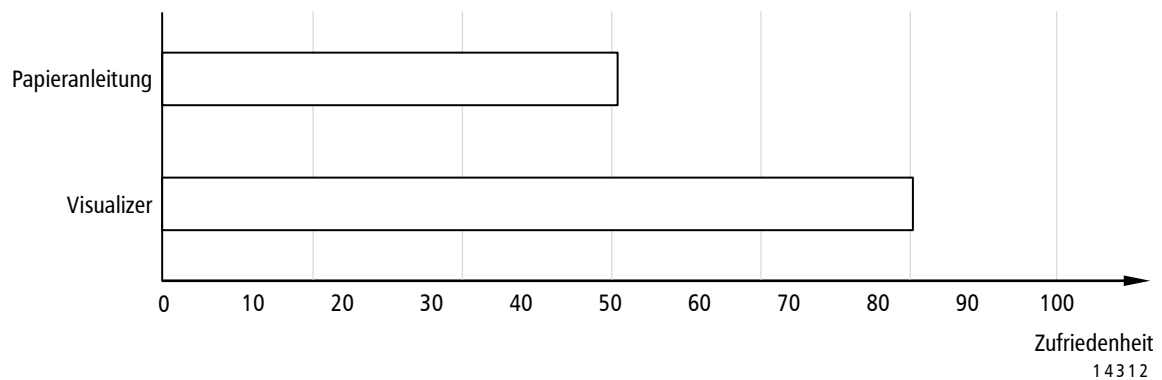


Abbildung 84: Bewertung der Nutzerakzeptanz

Die Bewertung der beiden Informationsformate zeigt, dass der *Visualizer* mit einem Mittelwert von 84 Punkten die Probanden deutlich besser zufriedengestellt hat als die Papieranleitung mit einem Mittelwert von 51 Punkten. In anschließenden Diskussionen und Interviews begründeten die Teilnehmer die Ursachen für die schlechtere Bewertung der Papieranleitungen mit der aufwändigen Handhabung. In vielen Fällen mussten die Teilnehmer die notwendigen Informationen mühsam aus den Papieranleitungen herausuchen und nachblättern, während der *Visualizer* die für einen Arbeitsschritt erforderlichen Informationen situationsgerecht in das Blickfeld der Nutzer einblendete.

Die Auswertung der zeitlichen und qualitativen Ergebnisse aus Testversuchen (objektive Daten) und die Auswertung der anschließenden Befragung hinsichtlich der Akzeptanz (subjektive Daten) zeigen eine positive Korrelation. In beiden Testreihen schneidet die digitale Informationsbereitstellung gegenüber der herkömmlichen papiergebundenen Vorgehensweise deutlich besser ab.

6.3 Praxiseinsatz

Zur Prüfung der industriellen Einsatztauglichkeit des ausgearbeiteten Konzeptes wurden die entwickelten Prototypen in der Praxis eingesetzt und durch Experten und spätere Anwender der Software bewertet.

Die Untersuchung der Praxistauglichkeit erfolgte in zwei Abteilungen eines Großmotorenherstellers für die maritime Industrie. In der Technischen Redaktion des Unternehmens erstellten die Mitarbeiter testweise Dokumentationsinhalte mit dem *Desktop Creator* und mit dem *VR Creator* und bewerteten das digitale Publikationsformat zur Visualisierung der Kundeninformationen auf dem *Visualizer*. In der Service Academy bewerteten Mitarbeiter im realen Einsatz den *Visualizer* als Informationsmedium für Service-Anleitungen. Im Anschluss an die Versuche beantworteten die Mitarbeiter Fragen zur Gebrauchstauglichkeit der Software-Demonstratoren.

6.3.1 Technische Redaktion

Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, kamen die drei Endanwenderlösungen *Desktop Creator*, *VR Creator* und *Visualizer* für mehrere Tage in der Technischen Redaktion testweise zum Einsatz. Insgesamt arbeiteten jeweils sieben Mitarbeiter, darunter Technische Redakteure sowie Redaktionsleitung, über mehrere Stunden mit den Softwaredemonstratoren.

Nach einer ausführlichen Einführung in die Bedienung und Funktionsweise der Software hatten die Teilnehmer ausreichend Zeit, um sich mit der Anwendung vertraut zu machen. Insbesondere die Steuerung des *VR Creators* mithilfe der Controller erforderte in der Regel etwas mehr Zeit, um sich an die Handhabung zu gewöhnen. Abbildung 85 gibt einige Einblicke in die Technologie- und Softwareeinführung.



14313

Abbildung 85: Einblicke in die Einführung am Beispiel des VR Creators (links) und des Visualizers (rechts)

Im Anschluss an die Technologie- und Softwareeinführung setzten die Redaktionsmitarbeiter die Anwendungen in einem an die reale Situation angelehnten Beispielszenario testweise ein. Dafür durchliefen die Mitarbeiter typische Redaktionsaufgaben wie die Inhaltsplanung und -erzeugung sowie die Überprüfung der Informationsdarstellung. Für die Umsetzung der Aufgaben griffen die Mitarbeiter auf die Softwarewerkzeuge der drei Anwendungen zurück. Abbildung 86 zeigt die Auflistung und Zuordnung der groben Redaktionsaufgaben zu den passenden Softwarewerkzeugen und Hardwaregeräten.

| Aufgaben | Softwarewerkzeuge | Hardware |
|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Planung und Recherche der Inhalte | Navigation und Interaktion in VR / Automatischer Demontageassistent | VR Creator |
| Erstellung der Texte und Verweise | Automatischer Demontageassistent | Desktop Creator |
| Illustration der Aufgaben | Animationsgenerierung | Desktop Creator / VR Creator |
| Darstellung der Informationen | Produktanimationen / Arbeitsschritte und Zusatzinformationen | Visualizer |

14314

Abbildung 86: Zuordnung der Redaktionsaufgaben zu den Softwarewerkzeugen und zu der Hardware

Weil die Mitarbeiter aus der Technischen Redaktion im praktischen Alltag unterschiedliche Themenschwerpunkte besitzen, konnten sie sich dementsprechend auch während der Versuche die Aufgaben, Softwarewerkzeuge und die Hardware frei einteilen und den Fokus nach den eigenen Bedürfnissen ausrichten.

Im Anschluss bewerteten die Teilnehmer in einem Fragenkatalog die Gebrauchstauglichkeit des digitalen Informationsmanagements auf einer siebenstufigen Skala. Der Katalog umfasste vier Fragebögen mit insgesamt 59 Fragen zu den einzelnen Hard- und Softwarelösungen.

Abbildung 87 zeigt zu Beginn die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des *VR Creators* auf einer siebenstufigen Skala von -3 (sehr schlecht) bis +3 (sehr gut).

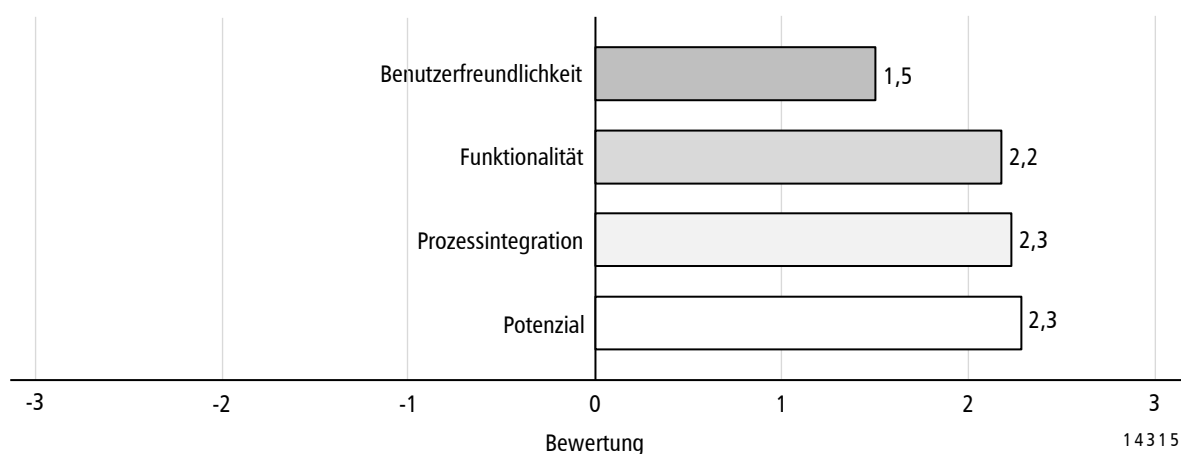


Abbildung 87: Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des VR Creators

Im Durchschnitt bewerteten die Teilnehmer den *VR Creator* überwiegend mehr als gut. Die Benutzerfreundlichkeit bewerteten sie jedoch schlechter als die restlichen Kategorien. Anschließende Gespräche mit den Testanwendern und die Auswertung der Freitextanmerkungen in den Fragebögen zeigten, dass ihnen der Umgang mit der VR-Hardware wenig vertraut war und sich dieser von den herkömmlichen und eingesetzten Systemen in der Technischen Redaktion stark unterscheidet. Die Steuerung der VR-Brille mithilfe der Controller fiel nur den wenigsten Testanwendern auf Anhieb leicht. Viele benötigten zunächst etwas mehr Einarbeitungszeit, um die Anwendung produktiv bedienen zu können. Gleichzeitig haben die Testanwender jedoch angemerkt, dass die Erlernbarkeit der Software nach ausreichender Übung im Umgang mit den Controllern hoch ist, weshalb die Potenzialabschätzung des *VR Creators* als nahezu sehr gut eingestuft wurde.

Weil der *Automatische Demontageassistent* als eine eigenständige Softwareanwendung sowohl über den *VR Creator* als auch über den *Desktop Creator* abgerufen werden kann und die Mitarbeiter während der Planung und Inhaltsgenerierung unterstützt, wurde dieser von den Testanwendern bereits früh als Funktionalität in der VR-Umgebung abgerufen.

Demzufolge bleiben für die Bewertung (Abbildung 88) des *Automatischen Demontageassistenten* Fragen aus der Kategorie Benutzerfreundlichkeit zunächst unberücksichtigt, weil diese stark von der Bedienung und Steuerung der eingesetzten Hardware abhängt und bei der Bewertung des *VR Creators* (Abbildung 87) oder *Desktop Creators* (Abbildung 89) berücksichtigt wird.

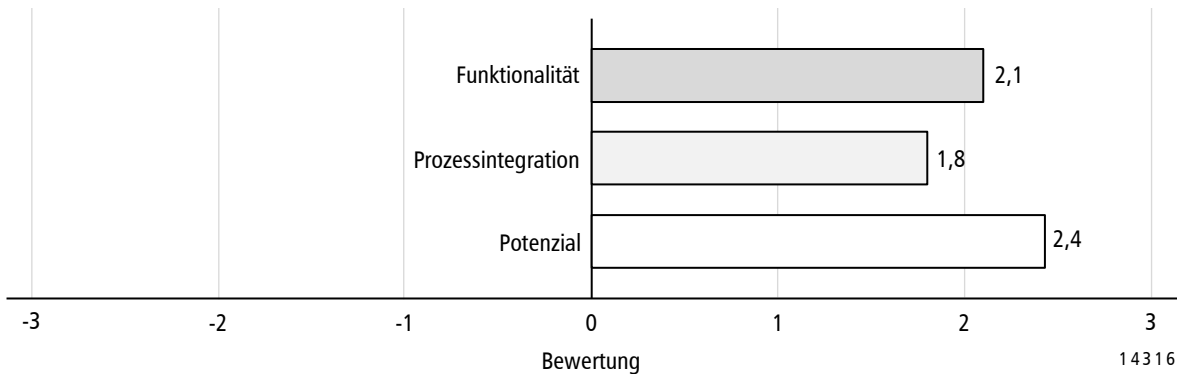


Abbildung 88: Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Automatischen Demontageassistenten

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt über die drei Kategorien verteilt eine durchschnittlich gute Bewertung. Verbesserungsbedarf besteht in der Prozessintegration, die sich durch eine Erweiterung der Automatisierung auf die Erstellung von Inspektions- und Prüfanleitungen erweitern ließe, jedoch nicht den Fokus der vorliegenden Arbeit bildet.

In der Regel nutzten die meisten Testanwender nach der Planung und Vorbereitung der digitalen Anleitungen mit dem der *VR Creator* und dem *Automatischen Demontageassistenten* den *Desktop Creator* zur Finalisierung der Arbeitsschritte und zur Verknüpfung von relevanten Zusatzinformationen. Abbildung 89 zeigt die anschließende Bewertung des *Desktop Creators*.

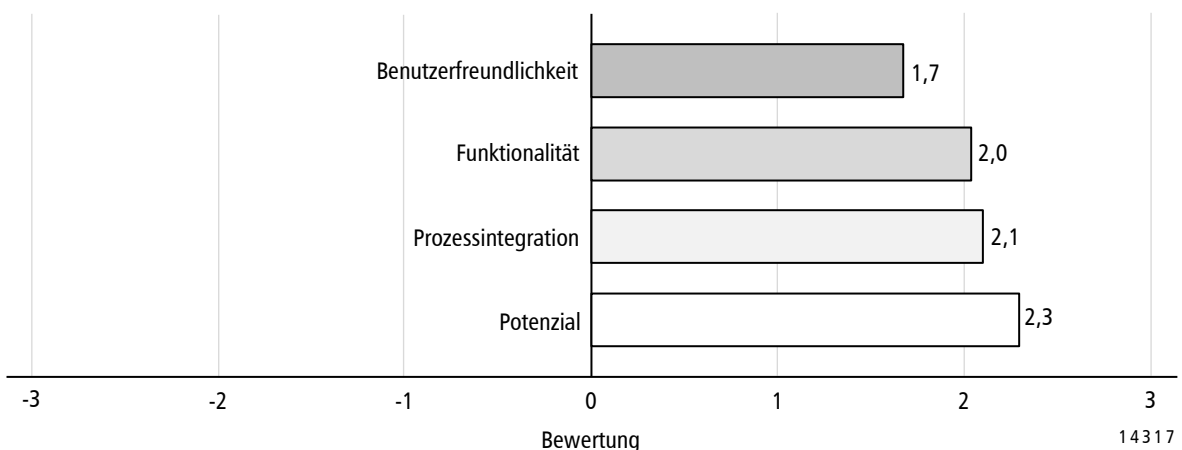


Abbildung 89: Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Desktop Creators

Im Vergleich zum *VR Creator* bewerteten die Testanwender die Benutzerfreundlichkeit des *Desktop Creators* geringfügig besser. Dies lässt sich nach Aussage einiger Testanwender auf die vertraute Arbeitsweise am Desktop mit Tastatur und Maus zurückführen. Weitere Anmerkungen der Testanwender weisen darauf hin, dass größere Symbole und Eingabefelder die Benutzerfreundlichkeit ebenfalls erhöhen würden. Trotz dieser Verbesserungsbedarfe, die sich durch den Prototypen-Status der Softwaredemonstratoren erklären lassen, sehen die Mitarbeiter aus der Technischen Redaktion hohe Potenziale für den Einsatz des *Desktop Creators* zur Erstellung digitaler Anleitungen.

Zur Überprüfung und finalen Visualisierung der angelegten Inhalte nutzten die Testanwender den *Visualizer*. Abbildung 90 zeigt dessen Bewertung hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit.

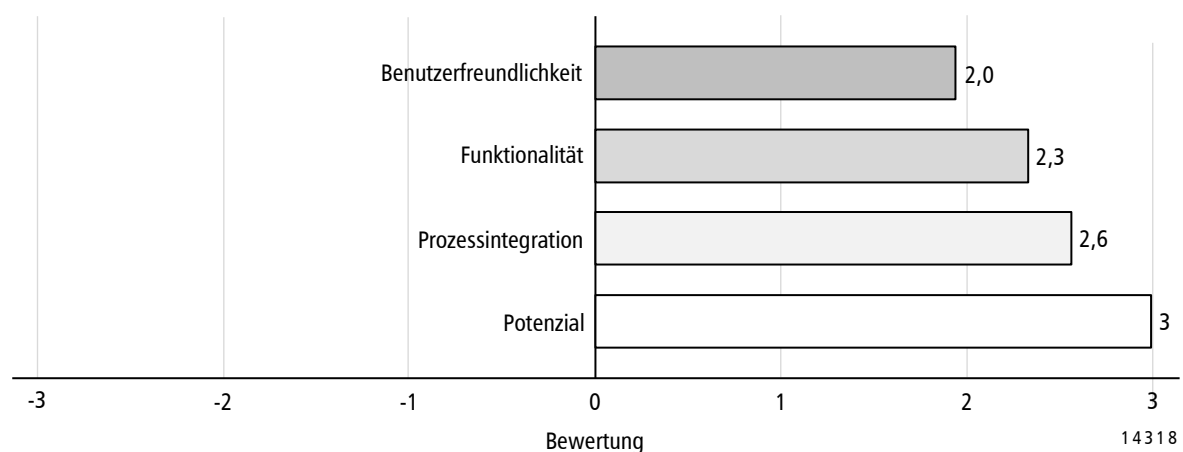
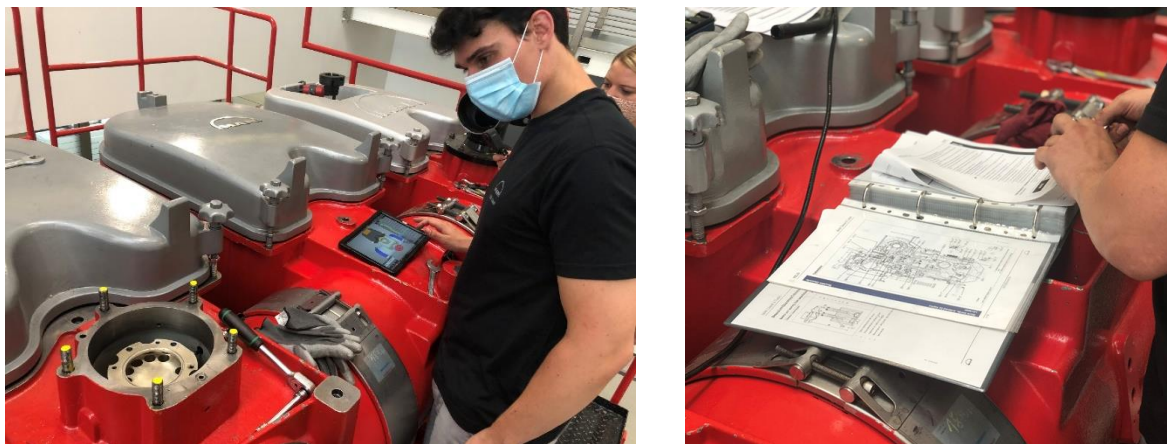


Abbildung 90: Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Visualizers

Die nahezu sehr gute Bewertung der verschiedenen Kategorien macht die Praxistauglichkeit der digitalen Informationsbereitstellung in der Instandhaltung deutlich. Zwar äußerten die Testanwender einige Verbesserungswünsche, wie bspw. die Möglichkeit zur flexiblen Anordnung der Menüfenster (3D-Modellanzeige und Schrittliste), diese lassen sich jedoch einfach umsetzen, sodass die Gebrauchstauglichkeit des Visualizers wahrscheinlich zur vollen Zufriedenheit gesteigert werden könnte. Alle Testanwender betonten das sehr hohe Potenzial des Visualizers.

6.3.2 Technischer Service

Zur gezielten Untersuchung der Praxistauglichkeit des digitalen Assistenzsystems als Informationsmedium zur Unterstützung von Instandhaltungsarbeiten am Produkt kam der *Visualizer* im Technischen Service zum Einsatz. Dafür führten insgesamt vier technische Mitarbeiter mit langjähriger Erfahrung in der maritimen Instandhaltung sowie mit dem Personal- und Kundentraining jeweils zwei kurze Wartungsaufgaben am Antriebsmotor durch. Zur informativen Unterstützungen während der ersten Aufgabe erhielten die Mitarbeiter den *Visualizer* und für die zweite Aufgabe die üblichen Papieranleitungen. Abbildung 91 gibt einige Einblicke in die Aufgabenausführung.

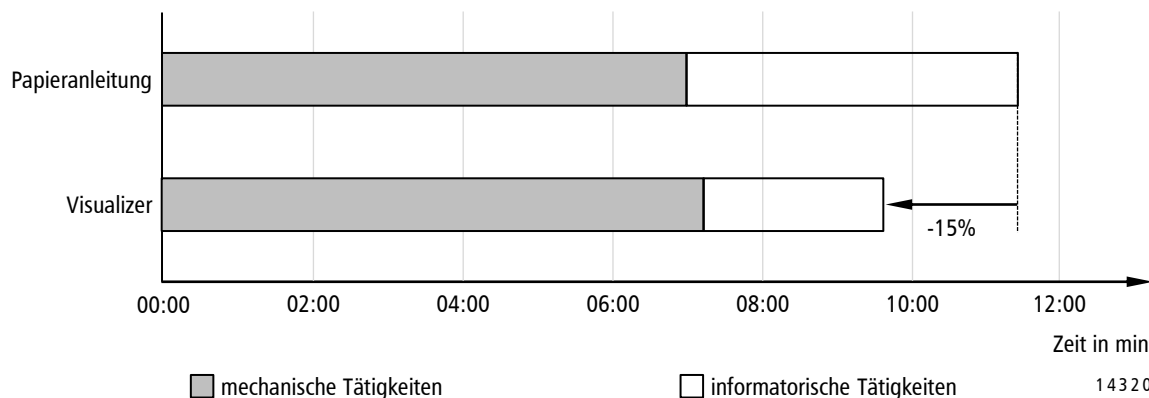


14319

Abbildung 91: Mitarbeiter während der Ausführung von Wartungsarbeiten am Motor mit dem Visualizer (links) und mit Papierdokumenten (rechts)

Die Reihenfolge der eingesetzten Informationsmedien, *Visualizer* vor den Papierdokumenten, wurde bewusst so ausgewählt, weil bei einer anschließenden zeitlichen Gegenüberstellung der beiden Medien mögliche Lerneffekte zugunsten der Papierdokumente ausfallen. Mögliche Lerneffekte konnten jedoch bereits vorab vermieden werden, indem unterschiedliche Aufgaben ausgewählt wurden. Um die Auswirkungen der beiden Informationsmedien auf die Ausführungsdauer messbar zu machen, wurden die Aufgaben so ausgelegt, dass diese gleiche zeitliche und technische Aufwände umfassen.

Vor der Versuchsdurchführung bekamen die vier technischen Mitarbeiter eine ausführliche Funktionsanweisung für den *Visualizer* an einem Beispielmotormodell. Das Arbeiten mit den Papierdokumenten und -anleitungen war den Mitarbeitern aufgrund der langjährigen Erfahrung geläufig. Um die einzelnen Tätigkeiten während der Aufgabenausführung zeitlich erfassen zu können, wurden die Versuche auf Video aufgenommen und anschließend ausgewertet. Abbildung 92 zeigt im Vergleich die beiden Informationsmedien und die Aufteilung der einzelnen Zeiten. Insgesamt benötigten die technischen Mitarbeiter mit dem *Visualizer* 15 Prozent weniger Zeit für die Fertigstellung der Aufgabe als mit den herkömmlichen Papieranleitungen. Bezogen auf die informatorischen Tätigkeiten konnten ca. 40 Prozent des Zeitaufwandes eingespart werden.



14320

Abbildung 92: Tätigkeitsanteile während der Aufgabenausführung

Die Auswertung zeigt, dass die Dauer der mechanischen Tätigkeiten aufgrund desselben technischen Umfangs der beiden Aufgaben gleich bleibt. Die Ergebnisse dieser Produktivitätsuntersuchung sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da die Anzahl der Versuchspersonen gering ausfällt und nicht repräsentativ ist. Dennoch ist eine Tendenz zu erkennen, die auch mit den vorhergehenden Untersuchungen (vgl. Abschnitt 6.2.2) übereinstimmt.

Auch die anschließenden subjektiven Daten aus der Befragung der technischen Mitarbeiter zum Umgang mit dem *Visualizer* und der Gebrauchstauglichkeit (Abbildung 93) zeigt sehr positive Ergebnisse.

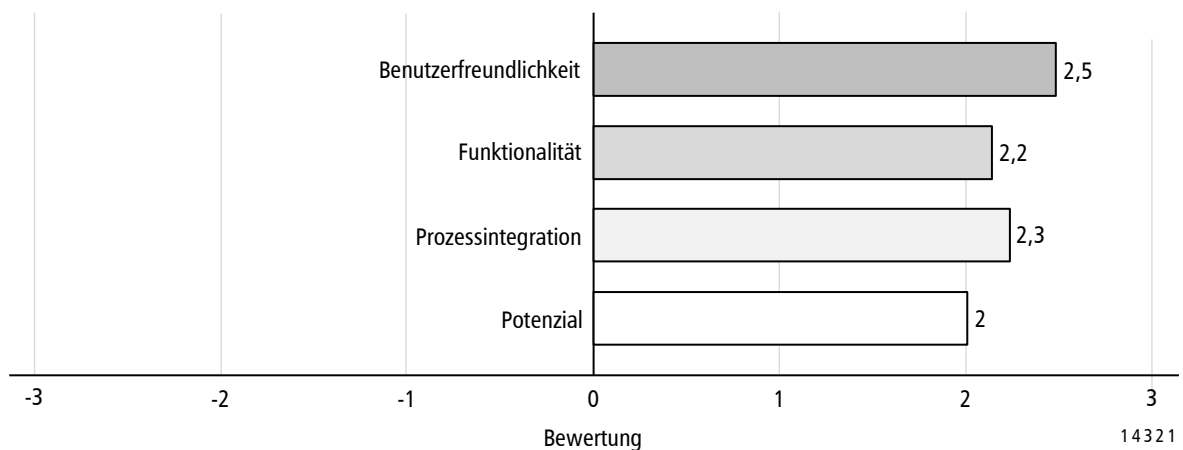


Abbildung 93: Bewertung der Gebrauchstauglichkeit des Visualizers durch den Technischen Service

Die Technischen Mitarbeiter sehen ein hohes Potenzial in dem Einsatz des *Visualizers* zur Darstellung von Instandhaltungsinformationen. Einige der befragten Mitarbeiter schlugen Erweiterungen der bestehenden Funktionalität vor: Digitale App-Tutorials zur Selbstschulung im Umgang mit den digitalen Informationen würden das Potenzial weiter steigern.

7 Schlussbetrachtung

Das nachfolgende Kapitel fasst zunächst die Ergebnisse der einzelnen Kapitel zusammen und gibt zum Schluss einen Ausblick auf weitere Forschungsbedarfe sowie industrielle Voraussetzungen für den Technologieeinsatz.

7.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit entwickelt ein Konzept für die digitale Informationsbereitstellung bei Instandhaltungsarbeiten an Maschinen und Anlagen. Es zeigt sich, dass die derzeitig eingesetzten Formate der Informationsbereitstellung, überwiegend Papierdokumente, wesentliche Nachteile aufweisen, die zum einen die Produktivität und Qualität der Instandhaltungsarbeiten beeinflussen und zum anderen einen hohen Erstellungsaufwand erfordern.

In einer Untersuchung schlüsselt die vorliegende Arbeit die Aufwände für die Erstellung sowie die auftretenden Schwierigkeiten während der Nutzung von Papieranleitungen auf und benennt gezielte Handlungsbedarfe für eine verbesserte Form der Informationsbereitstellung.

Das Konzept für die digitale Informationsbereitstellung, aufbauend auf einem umfassenden Gesamtsystem mit Modulen zur Erstellung, Visualisierung und Verwaltung von Wartungs- und Reparaturanleitungen, zeigt, wie die Produktivität in den indirekten und direkten Bereichen der Instandhaltung gesteigert werden kann.

Ein mobiles Augmented-Reality-Assistenzsystem leitet Bordmechaniker und Servicetechniker durch die Arbeitsaufgabe, indem es die für den aktuellen Arbeitsschritt relevanten Informationen situationsgerecht auf dem Anzeigesystem darstellt, sodass das aufwändige Suchen und Blättern in Papierordnern, Katalogen oder Listen entfällt. Das mobile Assistenzsystem ist in ein Gesamtsystem eingebettet, das auch die aufwandsarme Erstellung der animierten Schritt-für-Schritt-Anleitungen umfasst. Das Erstellungssystem unterstützt die Technischen Redakteure beim Anlegen der Arbeitsschritte und bei der Verknüpfung von Zusatzinformationen, auch teilautomatisiert, sodass der Aufwand für die Erstellung der digitalen Anleitungen deutlich reduziert werden kann. Eine Virtual-Reality-Erweiterung des Erstellungssystems ermöglicht es den Redakteuren die zu erstellenden Inhalte in einer immersiven 3D-Umgebung anschaulich zu planen sowie komplexe Animationen für besondere Handgriffe einfach zu erzeugen.

In mehreren Laboruntersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz der digitalen Anleitung gegenüber den klassischen Papierdokumenten Zeit einsparen und die Fehlerhäufigkeit reduzieren kann. Auch der Einsatz des Erstellungssystems zeigt deutliche Einsparungen gegenüber dem herkömmlichen Redaktionsprozess. Im praktischen Einsatz der entwickelten Systeme bestätigten Experten aus dem Technischen Service und der Technischen Redaktion die Gebrauchstauglichkeit und das Potenzial des entwickelten Konzeptes.

7.2 Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt mithilfe prototypisch umgesetzter Softwaredemonstratoren, wie digitale Instandhaltungsinformationen aufwandsarm erstellt und für den Endanwender anschaulich angezeigt werden können. Der Transfer der Ergebnisse in die industrielle Praxis ist jedoch an einige Voraussetzungen und Herausforderungen geknüpft.

Die Bereitstellung animierter Anleitungen ist abhängig von der Verfügbarkeit der 3D-Modelle und der Technischen Informationen. Nur wenn die Eingangsdaten vollständig vorliegen und in einem wiederverwendbaren Format aus den bestehenden Systemen exportiert und bereitgestellt werden können, gelingt die Visualisierung der digitalen Anleitungen.

Weil der entwickelte Softwaredemonstrator noch kein betriebsfähiges Produkt darstellt, ist vor der industriefähigen Umsetzung zu klären, ob die Software im Unternehmen intern selbstständig entwickelt wird oder von IT-Anbietern zugekauft werden soll.

Die industrielle Einführung der durch Augmented Reality unterstützten Assistenzsysteme erweckt bei vielen Betreibern Interesse, weil der Einsatz der virtuellen Technologie einen neuen digitalen Standard suggeriert. Jedoch ist die Akzeptanz der Anwender nicht nur positiv. Mitarbeiter sehen in der Einführung der neuen Technologie eine Änderung der Arbeitsweise, weil der Hard- und Softwareumgang zunächst erlernt werden muss. Es liegt an den Unternehmen, die Mitarbeiter und Softwareanwender auf die neue Technologie vorzubereiten, sie zu schulen und zu trainieren, um so die Akzeptanz gegenüber der neuen Arbeitsweise zu schaffen.

Gleichzeitig befähigt das Assistenzsystem Betreiber dazu, mehr Instandhaltungsarbeiten selbstständig durchzuführen, sodass die Anwesenheit der Servicetechniker nur noch bei besonders komplexen Arbeiten erforderlich ist. Die Erweiterung der Assistenzsysteme um ein Remote-System erspart lange Wartezeiten und eine teure Anreise der Servicetechniker, weil technische Fragen via Video-Telefonie größtenteils geklärt werden können.

Die Vernetzung der Assistenzsysteme entlang des Produktlebenszyklus ermöglicht den Zugriff auf relevante Informationen über die einzelnen Phasen hinaus. Protokollierte Daten aus der Inbetriebnahme des Produktes, die für die Instandhaltung relevant sind, können über eine einheitliche Datenbasis abgerufen werden.

Die vorliegende Arbeit zeigt mit dem Einsatz des Demontageassistenten, wie animierte Ausbaureihenfolgen mit Bauteilbezeichnungen und Arbeitsschrittbeschreibungen generiert werden können. Die Erstellung der digitalen Anleitungen kann noch effizienter gestaltet werden, wenn es gelingt, diese vollautomatisch zu erstellen und mit weiteren relevanten technischen Zusatzinformationen, wie bspw. Gefahren- und Sicherheitshinweisen, selbstständig zu verknüpfen. Dadurch wandelt sich auch die Arbeitsform der Technischen Redakteure, welche zukünftig weniger Textanleitungen schreiben müssen, sondern den digitalen Content managen werden.

Literatur

- [Aehn20] Aehnelt, M.: Flyer: Virtuelles Training: Maschine@Hand 2.0. Fraunhofer IGD, Rostock, 2020. Abgerufen am 17. Juni 2021, von <https://www.igd.fraunhofer.de/projekte/machinehand>
- [Apt18] Apt, W.; Bovenschulte, M.; Priesack, K.; Weiss, C.; Hartmann, E. A.: Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Forschungsbericht 502 für das Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Institut für Innovation und Technik, Berlin, 2018.
- [Azum97] Azuma, R. T.: A Survey of Augmented Reality. In: Presence: Teleoperators and virtual environments. Vol. 6, no. 4, MIT Press, Cambridge, 1997, S. 355-385.
- [Bang09] Bangor, A.; Kortum, P.; Miller, J.: Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. In: Journal of Usability Studies. Vol. 4, no. 3, Usability Professionals' Association, Bloomington, 2009, S. 114-123.
- [Berk18] Berkemeier, L.; Niemöller, C.; Metzger, D.; Thomas, O.: Akzeptanz von Smart Glasses für die Aus- und Weiterbildung. In: Thomas, O.; Dirk, M.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung. Springer Gabler, Berlin, 2018, S. 143 -156.
- [Bimb06] Bimber, O.; Raskar, R.: Modern Approaches to Augmented Reality. In: ACM SIGGRAPH 2006 Courses. ACM, 2006, S. 1-86.
- [BMI18] Bundesministerium des Innern; Bundesverwaltungsamt (Hrsg.): Handbuch für Organisationsuntersuchungen und Personalbedarfsermittlung. Berlin/Köln, 2018.
- [Bowm01] Bowman, D. A.; Kruijff, E.; LaViola Jr., J. J.; Poupyrev, I.: An Introduction to 3-D User Interface Design. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments. Vol. 10, no.1, MIT Press, Cambridge, 2001, S. 96-108.
- [Bowm12] Bowman, D. A.; McMahan, R. P.; Ragan, E. D.: Questioning Naturalism in 3D User Interfaces. In: Communications of the ACM. Vol. 55, no. 9, ACM, 2012, S. 78-88.
- [Bowm99] Bowman, D. A.; Hodges, L. F.: Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments. In: Journal of Visual Languages & Computing. Vol. 1, no. 1, Elsevier, 1999, S. 37-53.

- [Bric07] Briceno, J. J.; Pochiraju, K.: Automatic Disassembly Plan Generation from CAD Assembly Models. In: Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing. IEEE, 2007, S. 64-69.
- [Broo96] Brooke, J.: SUS - A quick and dirty usability scale. In: Jordan, P. W.; Thomas, B.; Weerdmeester, B.A.; McClelland, I. (Hrsg.): Usability Evaluation in Industry. Taylor & Francis, London, 1996, S. 189-194.
- [Bues18] Bues, M.; Schultze, T.; Wingert, B.: Konzeption und Implementierung einer VR-Lernumgebung für technische Dienstleistungen. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung. Springer Gabler, Berlin, 2018, S. 113 - 122.
- [Bütt17] Büttner, S.; Mucha, H.; Funk, M.; Kosch, T.; Aehnelt, M.; Robert, S.; Röcker, C.: The Design Space of Augmented and Virtual Reality Applications for Assistive Environments in Manufacturing: A Visual Approach. In: Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive (PETRA '17). ACM, 2017, S. 433-440.
- [Chen76] Chen, P. P.-S.: The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data. In: ACM Transactions on Database Systems. Vol. 1, no. 1, ACM, 1976, S. 9-36.
- [DIN 31051] DIN 31051 (2019-06): Grundlagen der Instandhaltung. Beuth, Berlin, 2019.
- [DIN EN 13306] DIN EN 13306 (2018-02): Instandhaltung - Begriffe der Instandhaltung. Beuth, Berlin, 2018.
- [DIN EN 82079-1] DIN EN 82079-1 (2013-06): Erstellen von Gebrauchsanleitungen - Gliederung, Inhalt und Darstellung - Teil 1: Allgemeine Grundsätze und ausführliche Anforderungen. Beuth, Berlin, 2013.
- [Dini15] Dini, G.; Dalle Mura, M.: Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services. In: Procedia CIRP. Vol. 38, Elsevier, 2015, S. 14-23.
- [Ditt95] Dittmer, G.: Managen mit Methode. Gabler, Wiesbaden, 1995.
- [Drew11] Drewer, P.; Ziegler, W.: Technische Dokumentation: eine Einführung in die übersetzungsgerechte Texterstellung und in das Content-Management. 1. Aufl., Vogel, Würzburg, 2011.
- [Elza19] Elzalabany, A.: Creation and Management of Augmented-Reality-Based Service Instructions. Technische Universität Hamburg, Masterarbeit (Betreuer: Meluzov, N.; Lödding, H.), Hamburg, 2019.

- [Fisc11] Fischer, P.; Hofer, P.: Lexikon der Informatik. 15. überarb. Aufl., Springer, Berlin/Heidelberg, 2011.
- [Frie04] Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA: Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publics Corporate Publishing, Erlangen, 2004.
- [Frie16] Friedewald, A.; Halata, P. S.; Meluzov, N.; Lödding, H.: Die Produktivitätswirkung von Augmented Reality in der Unikatfertigung. In: Schlick, C. M. (Hrsg.): Megatrend Digitalisierung - Potenziale der Arbeits- und Betriebsorganisation. GITO-Verlag, Berlin 2016, S. 141-162
- [Habe12] Habermellner, R.; de Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S.: Systems Engineering: Grundlagen und Anwendungen. 12. Aufl., Orell Füssli, Zürich, 2012.
- [Hala18] Halata, P. S.: Augmented-Reality-gestützte Informationsbereitstellung für die Unikatproduktion. Technische Universität Hamburg, Dissertation, Hamburg, 2018.
- [Hein15] Heinig, M.: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten. Technische Universität Hamburg, Dissertation, Hamburg, 2015.
- [Hofm12] Hofmann, E.; Maucher, D.; Hornstein, J.; den Ouden, R.: Investitionsgütereinkauf: Erfolgreiches Beschaffungsmanagement komplexer Leistungen. Springer, Berlin/Heidelberg, 2012.
- [Horz10] Horz, H.; Schnotz, W.: Multimedialer Wissenserwerb. In: Spiel C.; Schober, B.; Wagner, P.; Reimann, R. (Hrsg.): Bildungspsychologie, Hogrefe, Göttingen, 2010, S. 188–192.
- [Jann18] Jannaber, S.; Berkemeier, L.; Metzger, D.; Niemöller, C.; Brenning, L.; Thomas, O.: Smart Glasses als Autorenwerkzeug zur Erstellung digitaler Aus- und Weiterbildungsinhalte. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung. Springer Gabler, Berlin, 2018, S. 126 - 142.
- [Jost17] Jost, J.; Kirks, T.; Mättig, B.; Sinsel, A.; Trapp, T. U.: Der Mensch in der Industrie - Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0: Produktion Bd. 1. 2. Aufl., Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg, 2017, S. 153-173.
- [Juhl15] Juhl, D.: Technische Dokumentation: Praktische Anleitungen und Beispiele. 3. Aufl., Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg, 2015.

- [Jung19] Jung, B.; Vitzthum, A.: Virtuelle Welten. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (AR/VR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität, 2. Aufl., Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg, 2019, S. 79-115.
- [Kauf20] Kaufmann, M.: Potentiale einer Service-App mit Augmented Reality in der Produktinstandhaltung. In: Orsolits H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Springer Gabler, Wiesbaden, 2020, S. 363-385.
- [Kluß20] Klußmann, J.; Meyer, J.-D.: Volle Sicht voraus: Virtual-/Augmented-Reality-Anwendung in der maritimen Industrie. In: Orsolits H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Springer Gabler, Wiesbaden, 2020, S. 386-398.
- [Kluw97] Kluwe, R. H.: Informationsverarbeitung, Wissen und mentale Modelle beim Umgang mit komplexen Systemen. In: Sonntag, K.; Schaper, N. (Hrsg.): Störungsmanagement und Diagnosekompetenz: leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen. Vdf Hochschulverlag, Zürich, 1997, S. 13-37.
- [Koth11] Kothes, L.: Grundlagen der Technischen Dokumentation. Springer, Berlin/Heidelberg, 2011.
- [Krcm15] Krcmar, H.: Einführung in das Informationsmanagement. 2. Aufl., Springer Gabler, Berlin/Heidelberg, 2015.
- [Krüg97] Krüger, W., Homp, C.: Kernkompetenz-Management: Steigerung von Flexibilität und Schlagkraft im Wettbewerb. Gabler, Wiesbaden, 1997.
- [Kunz20] Kunz, A.: Der Einsatz der virtuellen Realität zur digitalen Planung von Produktionsprozessen. In: Orsolits H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion, Springer Gabler Wiesbaden, 2020, S. 217-236.
- [Lamb20] Lamberti, F.; Cannavò, A.; Montuschi, P.: Is Immersive Virtual Reality the Ultimate Interface for 3D Animators? In: Computer. Vol. 53, no. 4, IEEE, 2020, S. 36-45.
- [Lödd19] Lödding, H.: WGAB Forschungsseminar2019 Vortrag: Weiterbildung mit digitalen Wartungsassistenzsystemen. Technische Universität Hamburg, Hamburg, 2019.
- [Lödd21] Lödding, H.; Friedewald, A.; Meluzov, N.; Rost, R.: Wartungs und Service von Schiffen mit erweiterter Realität (WASSER). BMWi Forschungsprojekt, Projektträger Jülich, Abschlussbericht, 2021

- [Löff08] Löffelholz, M.: Whitepaper Nr. 1: Wissenvermittlung mit dem Utility Film. memex, Weilheim, 2008.
- [Ludw05] Ludwig, C.; Reimann, C.: Augmented Reality: Information im Fokus. In: Kern, W.; Rammin, F.-J. (Hrsg.): C-LAB Report. Vol. 4, no. 1, Cooperative Computing & Communication Laboratory, Paderborn, 2005.
- [Maas13] Maas, M.: Investitionsgüter erfolgreich verkaufen: So machen Sie sich fit für die Praxis. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013.
- [Maty16] Matyas, K.: Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern. 6. Aufl., Carl Hanser Verlag, München, 2018.
- [Mehl14] Mehler-Bicher, A; Steiger, L.: Augmented Reality: Theorie und Praxis. 2.Aufl., de Gruyter Oldenbourg, München, 2014.
- [Melu18] Meluzov, N.; Friedewald, A.: Modular Authoring of Augmented Reality Based Service Instructions. In: Bertram, V. (Hrsg.): 17th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT '18). Tagungsband, Pavone, 2018, S. 176-188.
- [Melu19a] Meluzov, N.; Friedewald, A.; Elzalabany, A.; Lödding, H.: Aufwandsarme Erstellung von Augmented-Reality-Anleitungen für die maritime Instandhaltung. In: Lukas, U. v. (Hrsg.): Konferenz Go-3D 2019: Mit 3D Richtung Maritim 4.0. Tagungsband, Fraunhofer Verlag, Rostock, 2019, S. 31-44.
- [Melu19b] Meluzov, N.; Friedewald, A.; Mundt, C.; Lödding, H.: Produktivitätssteigerung in der Instandhaltung durch digitale Assistenzsysteme. In: Biedermann, H. (Hrsg.): 33. Instandhaltungsforum: Digitalisierte Instandhaltung: Stand und Perspektiven. Tagungsband, TÜV Media GmbH, Köln, 2019, S. 181-197.
- [Melu20] Meluzov, N.; Rost, R.; Friedewald, A.: Holistic Maintenance Support with a Digital Assistance System. In: Bertram, V. (Hrsg.): 19th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT '20). Tagungsband, Pontignano, 2020, S. 48-62.
- [Mewe20] Mewes, E.; Bergmüller, A.; Minow, A.; Waßmann, S.; Weigel, M.; Eichholz, S.; Adler, S.; Böckelmann, I.; Schmicker, S.; Mecke, R.: Digitale Assistenzsysteme zur mobilen Verwendung im Technischen Service: ein Leitfaden für die Gestaltung und Nutzung. Fraunhofer IFF, Magdeburg, 2020.
- [Meye20] Meyer, J.: Automatische Animationsgenerierung für digitale Instandhaltungsunterlagen. Technische Universität Hamburg, Projektarbeit (Betreuer: Meluzov, N.; Prüfer: Lödding, H.), Hamburg, 2020.

- [Milg94] Milgram, P.; Takemura, H.; Utsumi, A.; Kishino, F.: Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Proc. SPIE 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies. SPIE, Boston, 1994, S. 282–292.
- [Mund19] Mundt, C.: Evaluation digitaler Assistenzsysteme für die Instandhaltung. Technische Universität Hamburg, Masterarbeit (Betreuer: Meluzov, N.; Lödding, H.), Hamburg, 2019.
- [Nort16] North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung: Wissensmanagement gestalten. 6. Aufl., Springer Gabler, Wiesbaden, 2016.
- [Ocke97] Ockenfeld, M.: Klassische Informationsdienste. In: Buder, M.; Rehfeld, W.; Seeger, T.; Strauch, D. (Hrsg.): Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation: Ein Handbuch zur Einführung in die fachliche Informationsarbeit. Band 1, 4 Aufl., K. G. Saur, 1997, S. 257-279.
- [Ocul20] Oculavis: <https://oculavis.de/en/solutions/maintenance-solution/>, zuletzt abgerufen am 26.06.2021.
- [Oehm11] Oehmig, P.: Wie Sie eine benutzergerechte Technische Dokumentation (ein Informationsprodukt) planen, konzipieren und gestalten. Euroforum, Düsseldorf, 2011.
- [Palm18] Palmarini, R.; Erkoyuncu, J. A.; Roy, R.; Torabmostaedi, H.: A Systematic Review of Augmented Reality applications in Maintenance. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol. 49, Elsevier, 2018, S. 215–228.
- [Pete20] Petersen, P. D.: Enhancing the Quality and Reliability of Maintenance Operations using Mixed Reality. In: Bertram, V. (Hrsg.): 19th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT '20). Tagungsband, Pontignano, 2020, S. 38-27.
- [Pfei96] Pfeifer, T. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme in der Qualitätssicherung: Methoden zur Nutzung verteilten Wissens. Springer, Berlin/Heidelberg, 1996.
- [Pomb19] Pomberger, G.; Pree, W.: Software Engineering: Architektur-Design und Prozessorientierung. 3. Aufl., Hanser Verlag, München/Wien, 2004.
- [Port18] Porter, M.E.; Heppelmann, J. E.: Eine Brücke zwischen digitaler und physischer Welt. In: Harvard Business Manager. 2018, S. 20-33.
- [PTC20] PTC: Vuforia Studio: <https://www.ptc.com/de/products/augmented-reality/vuforia-studio>, zuletzt abgerufen am 15.08.2020.

- [Rafi17] Rafibakhsh, N.: Automated Assembly Planning: From CAD Model to Virtual Assembly Process. Oregon State University, Dissertaion, Oregon, 2017.
- [Rand16] van Randen, H. J.; Bercker, C.; Fieml, J.: Einführung in UML: Analyse und Entwurf von Software. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016.
- [Rech17] Rechten, S.; Redlich, B.: Augmented Documentation - Technische Innovation in den Praxisalltag implementieren. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. Vol. 54, issue 5, Springer, Wiesbaden, 2017, S. 769-780.
- [REFA97] REFA: Datenermittlung: Methodenlehre der Betriebsorganisation. Carl Hanser, München, 1997.
- [Rund20] Runde, C.: VR-/AR-Anwendungsfelder im Produktionskontext. In: Orsolits H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Springer Gabler, Wiesbaden, 2020, S. 51-73.
- [Sask08] Saske, B.: Augmented Reality in der Instandhaltung. Technische Universität Dresden, Dissertation, Dresden, 2008.
- [Sche10] Schenk, M. (Hrsg.): Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs. Springer, Berlin/Heidelberg, 2010.
- [Schl13] Schlagowski, H.: Technische Dokumentation im Maschinen- und Anlagenbau: Anforderungen. 1. Aufl., Beuth, Berlin, 2013.
- [Schm10] Schmolz, C.: Vom Hypervideo zum Utility-Film. In: Hennig, J.; Tjarks-Sobhani, M. (Hrsg.): Multimediale Technische Dokumentation (tekom Schriften zur Technischen Kommunikation, Band 14). Schmidt-Römhildt, Lübeck, 2010, S. 65–82.
- [Schm20] Schmidt, J.: Konvertierung bestehender Wartungsanleitungen für digitale Instandhaltungsassistenzsysteme. Technische Universität Hamburg, Projektarbeit (Betreuer: Meluzov, N.; Prüfer: Lödding, H.), Hamburg, 2020.
- [Schr20a] CAD Schroer: <https://www.cad-schroer.de/produkte/industrie-40/ar-applikationen/>, zuletzt abgerufen am 25.06.2021.
- [Schr20b] CAD Schroer: <https://www.cad-schroer.de/produkte/i4-virtual-review/>, zuletzt abgerufen am 25.06.2021.
- [Schr20c] CAD Schorer: <https://www.youtube.com/watch?v=JJ33LfjBkA4&t=16s>, zuletzt abgerufen am 25.06.2021.

- [Schu18] Schultze, T.; Bues, M.: Evaluation digitaler Aus- und Weiterbildung im virtuellen Raum. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung. Springer Gabler, Berlin, 2018, S. 157 - 167.
- [Schw18] Schwantzer, S.: Konzeption und Implementierung eines Smart-Glasses-basierten Informationssystems für technische Dienstleistungen. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung. Springer Gabler, Berlin, 2018, S. 94 - 112.
- [Scop20] Scope AR: WorkLink Create: <https://www.scopear.com/solutions/work-instructions/>, abgerufen am 16.08.2020.
- [Slat97] Slater, M.; Wilbur, S.: A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. In: Presence: Teleoperators and Virtual Environments. Vol. 6, no.6, MIT Press, Cambridge, 1997, S. 603-616.
- [Stoc07] Stock, I.: Erstellungsprozess neuartiger Technischer Dokumentationen. Universität Ulm, Dissertation, Ulm, 2007.
- [Stru12] Strunz, M.: Instandhaltung: Grundlagen, Strategien, Werkstätten. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg, 2012.
- [Su15] Su, H.; Maji, S.; Kalogerakis, E.; Learned-Miller, E.: Multi-view Convolutional Neural Networks for 3D Shape Recognition. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE, 2015, S. 945-953.
- [Swel94] Sweller, J.: Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. In: Learning and Instruction. Vol 4, no. 4, Elsevier, 1994, S. 295-312.
- [Tiet17] Tietze, F.: Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion. Technische Universität Hamburg, Dissertation, Hamburg, 2016.
- [Tito16] Titov, F.: Technologiegestützte Angebotserstellung für den Umbau komplexer Investitionsgüter. Technische Universität Hamburg, Dissertation, Hamburg, 2016.
- [Unity3D] Unity3D: Raycast: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Physics.Raycast.html>, zuletzt abgerufen am 27.06.2021.
- [VDI 2895] VDI 2895 (2012-12): Organisation der Instandhaltung - Instandhalten als Unternehmensaufgabe. Beuth, Berlin, 2012.
- [VDI 4500] VDI 4500 Blatt 1 (2006-06): Technische Dokumentation - Begriffsdefinitionen und rechtliche Grundlagen. Beuth, Berlin, 2006.

- [Voge18] Vogel, D.; Lubos, P.; Steinicke, F.: AnimationVR: Interactive Controller-based Animating in Virtual Reality. In: 2018 IEEE 1st Workshop on Animation in Virtual and Augmented Environments (ANIVAE). IEEE, 2018, S. 1-6.
- [Wegn20] Wegner, K.: Kreativprozesse in VR. In: Orsolits H.; Lackner, M. (Hrsg.): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Springer Gabler, Wiesbaden, 2020, S. 419-430.
- [Wint16] Winter, M.; Fredrich, H.; Franke, R.: Handlungsanalyse einschließlich Generierung von Handlungsanweisungen (TP 1.2). In: Schenk, M.; Schumann, M. (Hrsg.): Angewandte Virtuelle Techniken im Produktentstehungsprozess. Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg, 2016, S. 26-56.
- [Zahn03] Zahn, C.: Wissenskommunikation mit Hypervideo: Untersuchungen zum Design nicht-linearer Informationsstrukturen für audiovisuelle Medien. Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Dissertation, Tübingen, 2003.

Anhang

| | | | | | |
|------------|------------------|-------------|------------|---|---|
| Akzeptanz | nicht akzeptabel | grenzwertig | akzeptabel | | |
| Notenskala | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

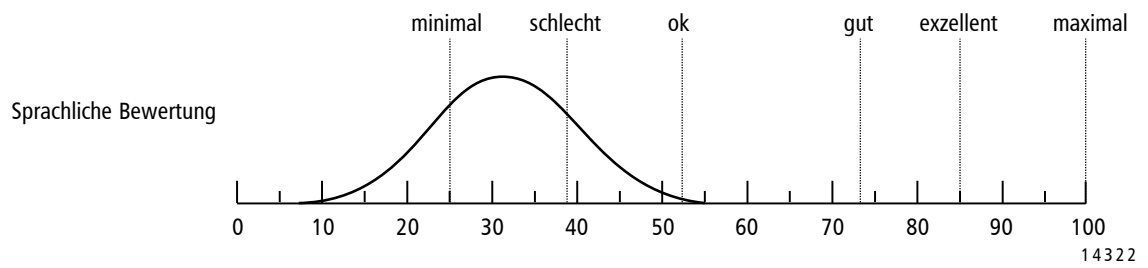
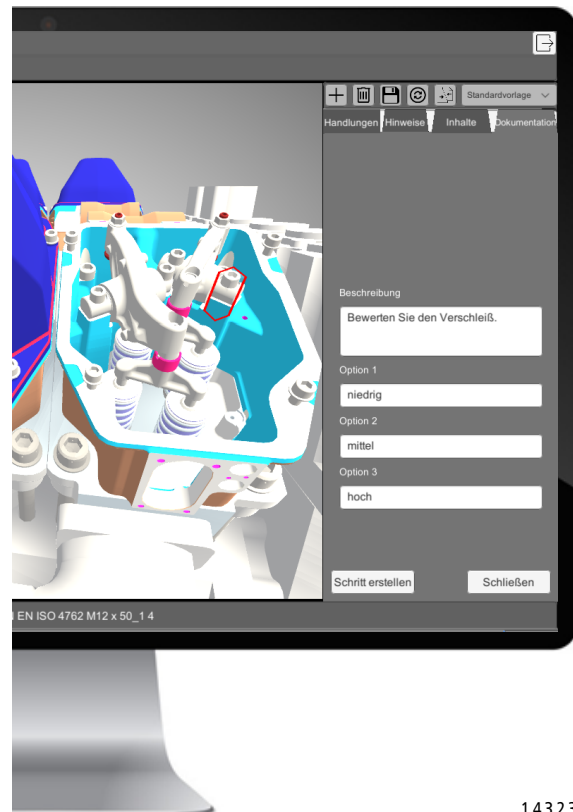
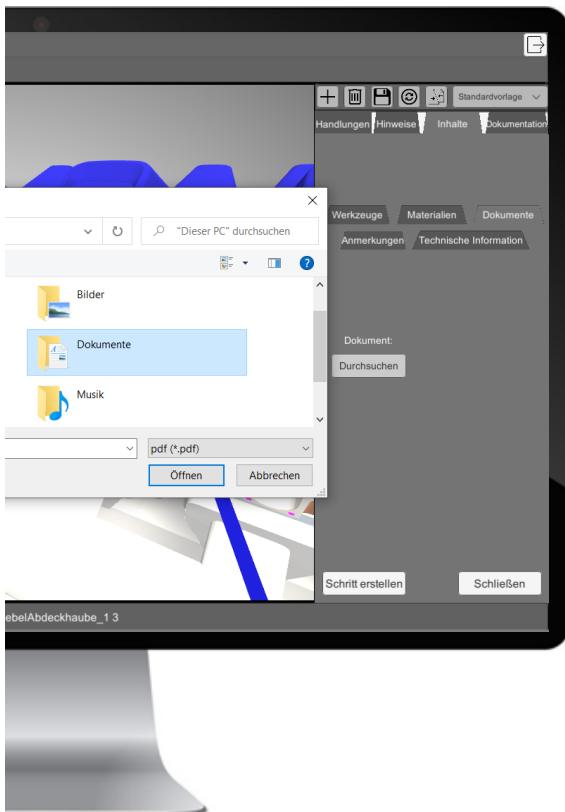
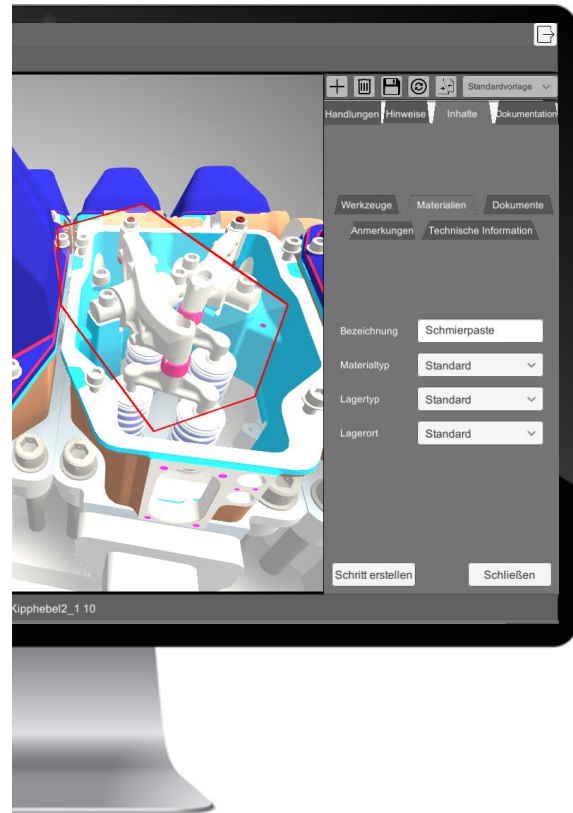
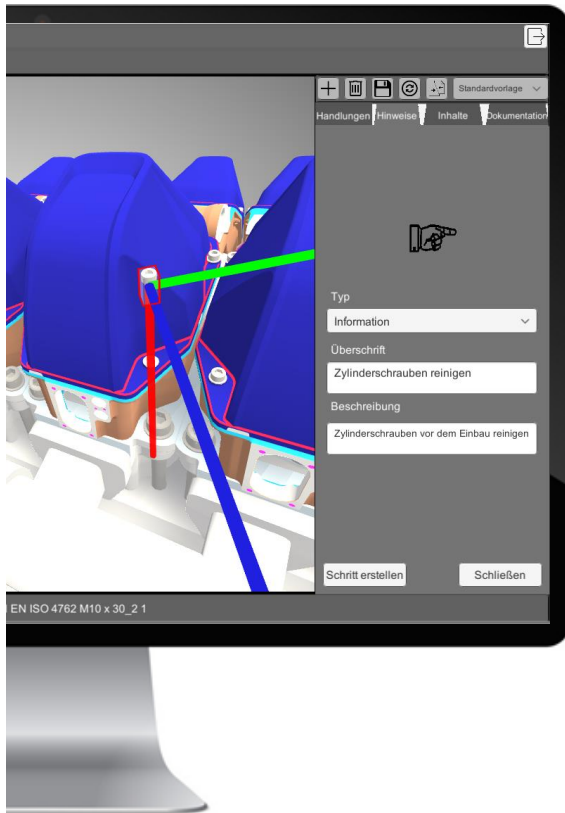
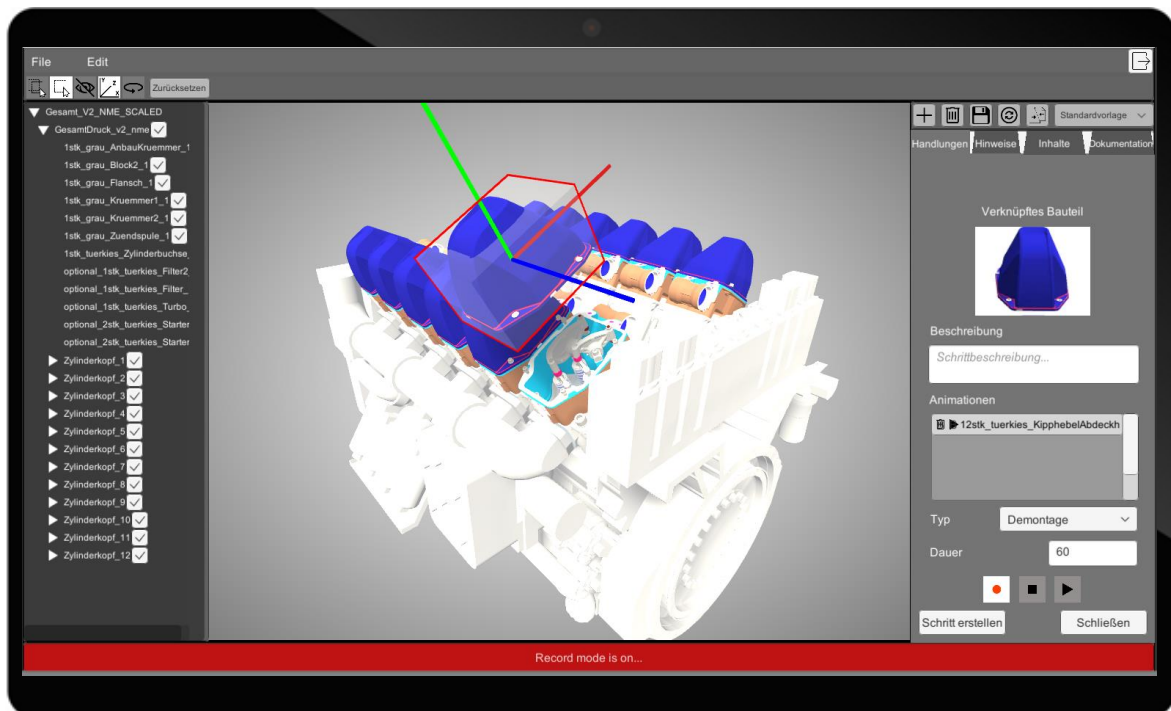


Abbildung A: Nutzerzufriedenheit im Umgang mit Papieranleitungen in Anlehnung an [Mund19, S. 36]



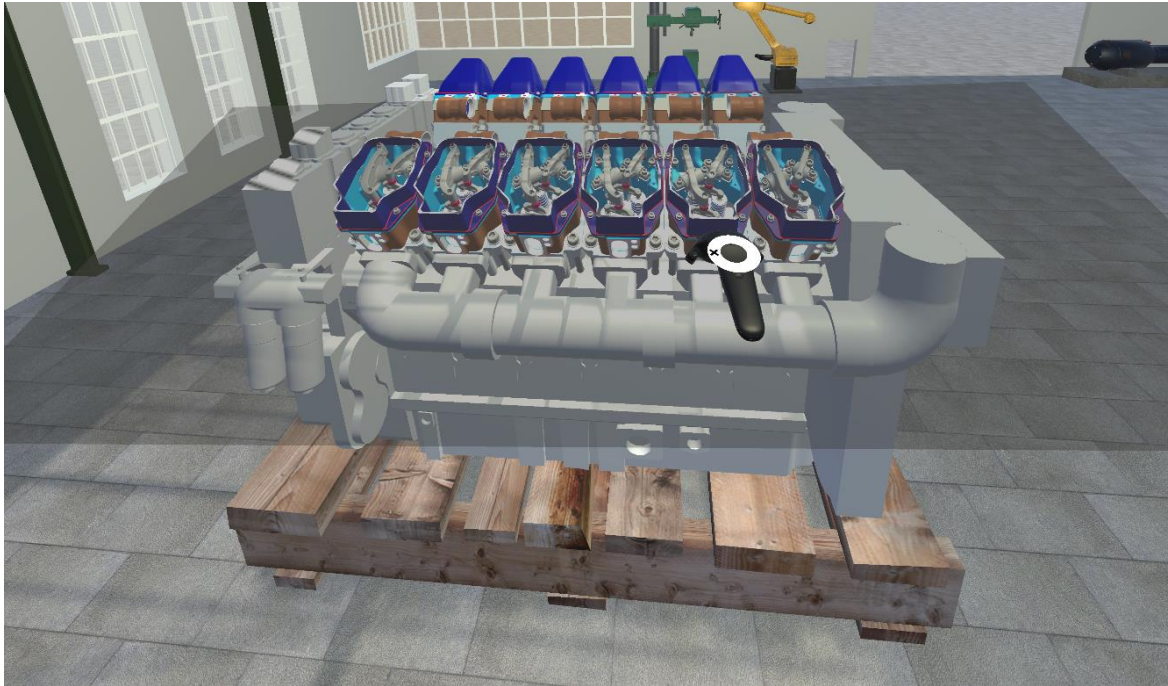
14323

Abbildung B: Technische Umsetzung der erweiterten Benutzeroberfläche des Desktop Creators für die Verknüpfung von Hinweisen (oben links), Materialien (oben rechts), Dokumenten (unten links) und Protokollvorlagen (unten rechts) in Anlehnung an [Elza19, S. 74 ff.]



14324

Abbildung C: Technische Anpassung des Desktop Creators für die Erstellung von Animationen in Anlehnung an [Melu19a, S. 38]



14325

Abbildung D: Technische Umsetzung einer Halbschnittebene in VR am Beispiel des Motors

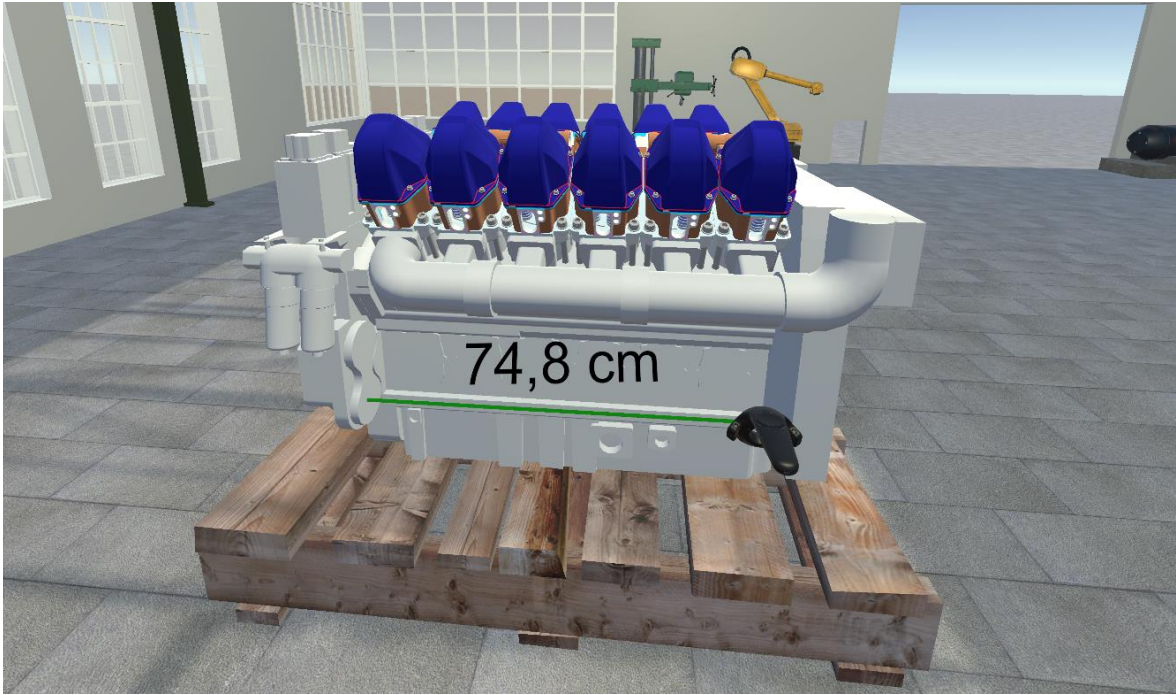


Abbildung E: Technische Umsetzung der Punkt-zu-Punkt-Distanzmessung



14327

Abbildung F: Technische Umsetzung der Platzierung von bauteilbezogenen Anmerkungen in VR

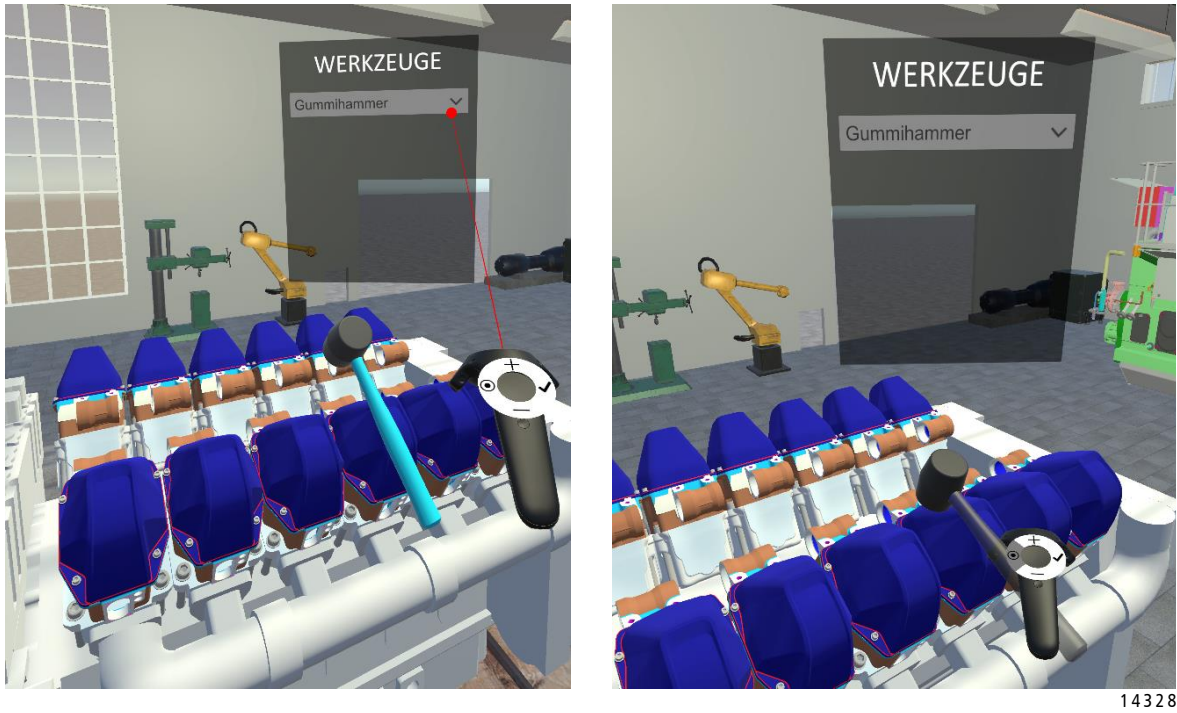
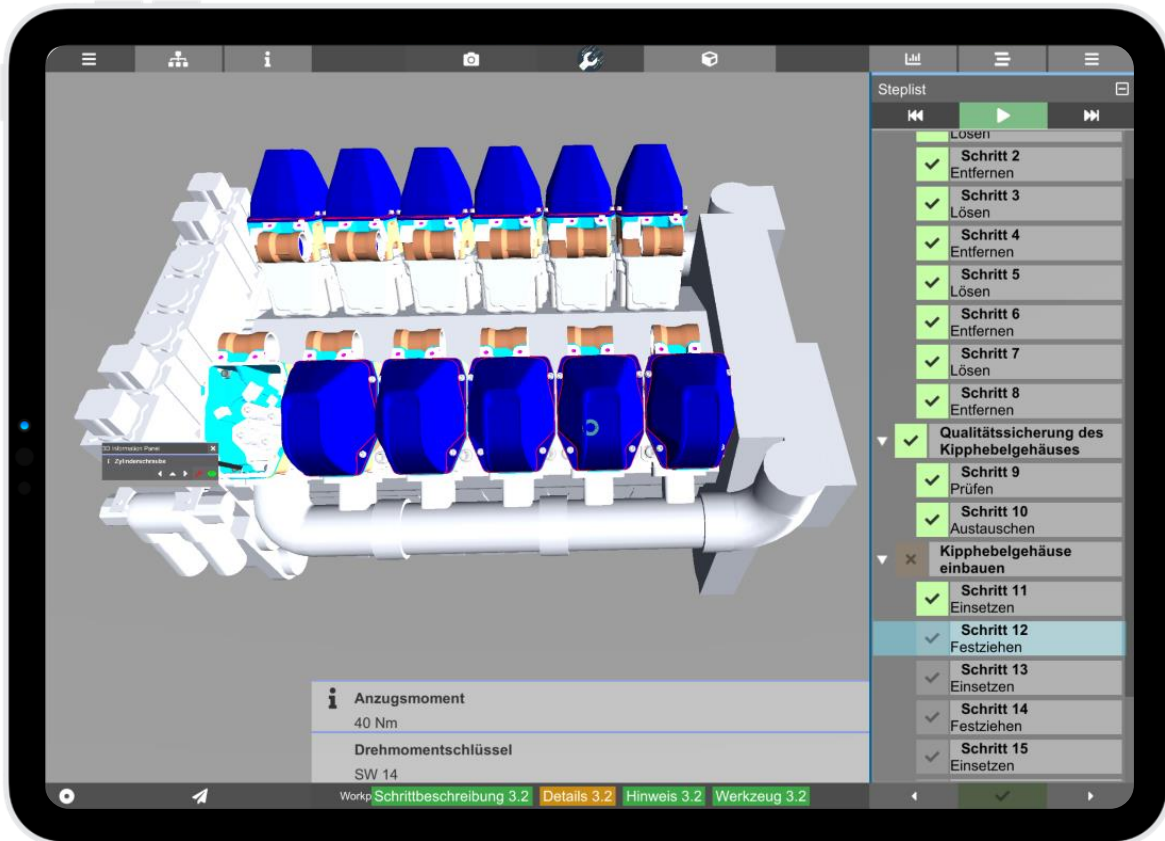
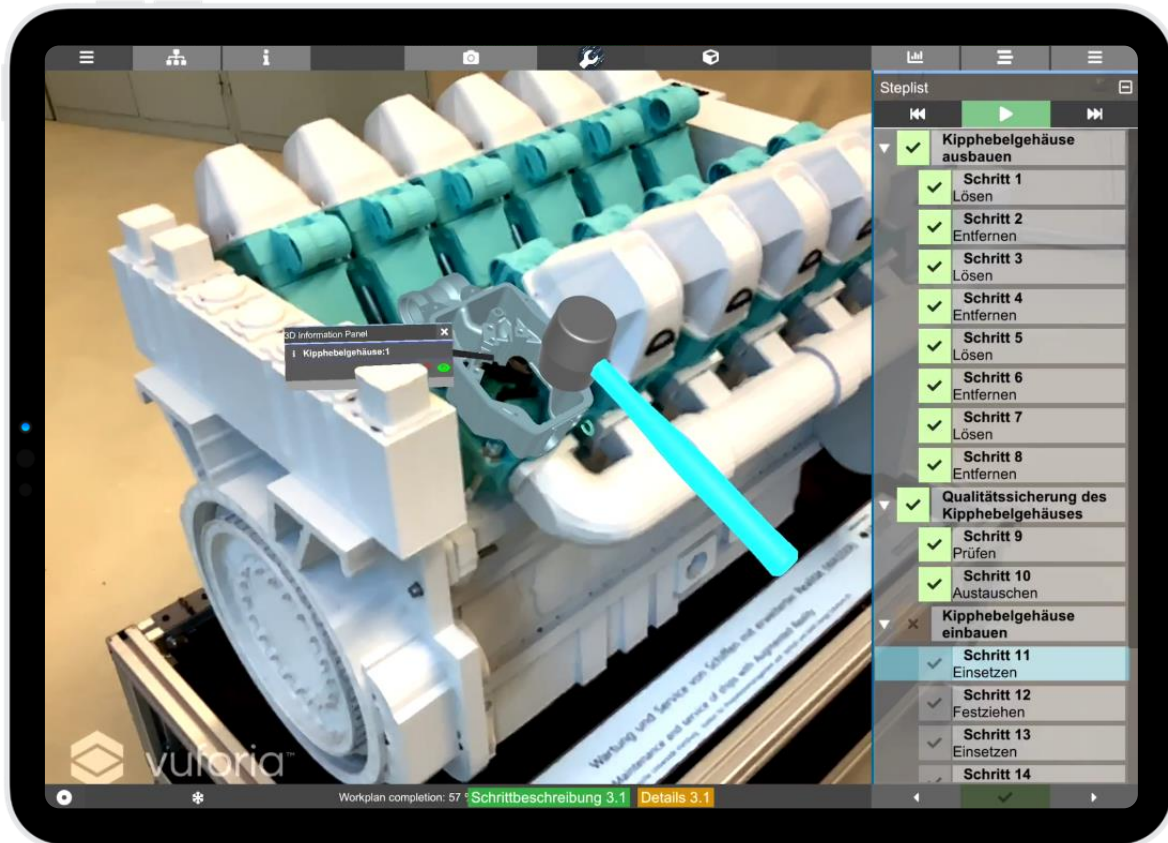


Abbildung G: Laden (links) und Animieren (rechts) von Werkzeugen zur Visualisierung der Handhabung



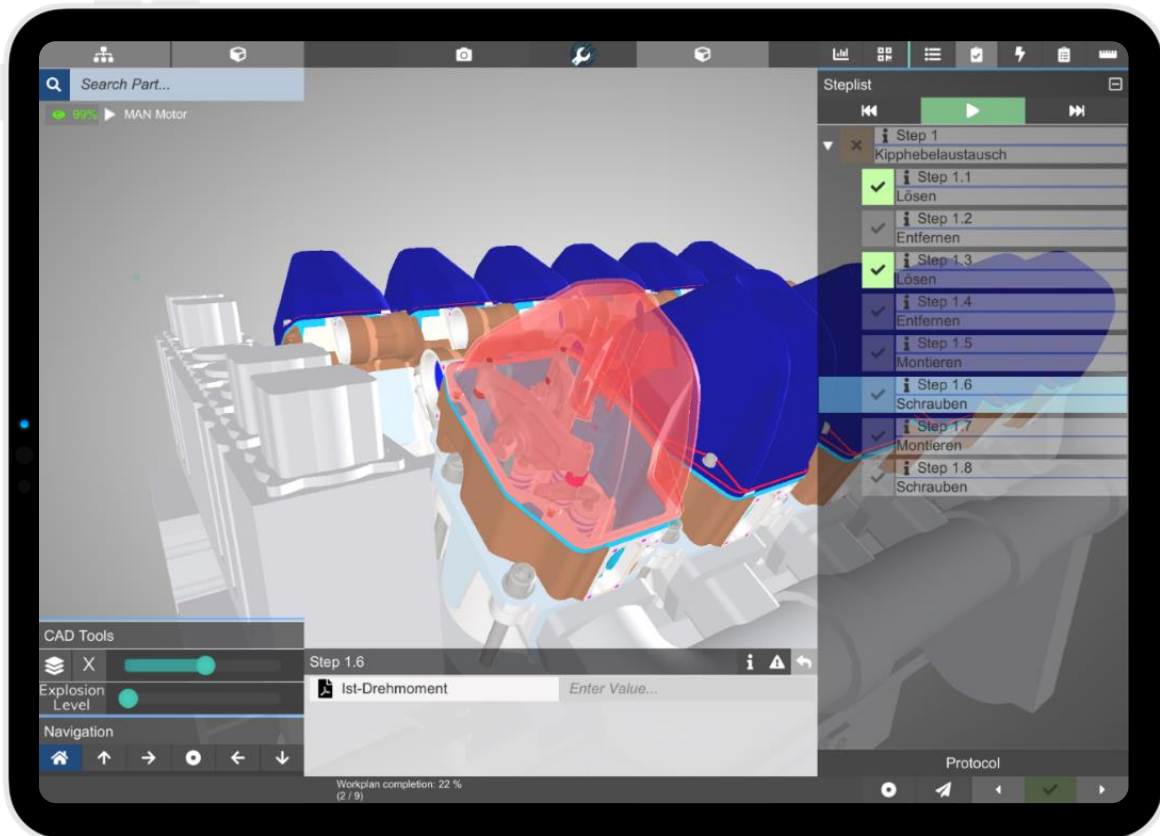
14329

Abbildung H: Visualisierung beispielhafter Zusatzinformationen (unten mittig) auf dem digitalen Instandhaltungsassistenzsystem in Anlehnung an [Melu20, S. 58]



14330

Abbildung I: Einblendung von Augmented-Reality-Animationen auf dem digitalen Instandhaltungsassistenzsystem in Anlehnung an [Lödd21, S. 78]



14331

Abbildung J: Rückmeldung von Werten auf dem digitalen Instandhaltungsassistenzsystem [Lödd21, S. 54]

Lebenslauf

| | |
|-----------------------------|---|
| Name: | Meluzov |
| Vorname: | Nikolaj |
| Staatsangehörigkeit: | deutsch |
| Geburtsdatum: | 31.05.1988 |
| Geburtsort, -land: | Barnaul / Altai, Russland |
| | |
| 03.1996 – 07.1999 | Grundschule Böttcherkamp in Hamburg |
| 08.1999 – 06.2005 | Gesamtschule Geschwister Scholl in Hamburg |
| 08.2005 – 06.2008 | Gesamtschule Blankenese in Hamburg |
| 11.2008 – 07.2009 | Zivildienst in der Ernst und Cleare Jung Stiftung in Hamburg |
| 10.2009 – 10.2013 | Studium an der TU Hamburg Abschluss: Bachelor of Science |
| 10.2013 – 05.2016 | Studium an der TU Hamburg Abschluss: Master of Science |
| 07.2016 – 10.2020 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produk- tionsmanagement und -technik der TU Hamburg |
| 10.2021 – heute | IT-Berater bei der Lufthansa Industry Solutions |

Schriftenreihe

Band 1

Koch, Jens Bodo: Unterstützung der schiffbaulichen Projektierung durch Repräsentation von Erfahrungswissen, 2004.

Band 2

Meyer, Sven: Flexible Gruppenarbeit in der Auftragsfertigung, 2004.

Band 3

Joswig, Dirk: Untersuchungen zum Zerspanverhalten weicher Elastomerwerkstoffe, 2005.

Band 4

Kerse, Nils: Unterstützung der schiffbaulichen Produktentstehung durch Einsatz von Virtual Reality (VR)-Technologien, 2007.

Band 5

Kurzewitz, Mathias: Kompetenzentwicklung als Element erfolgreicher Strategieumsetzung – dargestellt am Beispiel des Schiffbaus, 2007.

Band 6

Dauids, Niko: Workflow-Management in Produktentwicklungsprojekten der Investitionsgüterindustrie, 2008.

Band 7

Möller, Carsten: Untersuchungen zum Drehen von gesinterten WC-Co-Hartmetallwalzringen, 2009.

Band 8

Gotsch, Falko: Untersuchungen zum Zerspanverhalten von Elastomerschäumen mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Fertigung von Feder-Dämpfer-Bauteilen, 2009.

Band 9

Neumann, Lutz: Risikomanagement bei der Gestaltung von Unternehmenskooperationen – untersucht am Beispiel der Investitionsgüterindustrie, 2009.

Band 10

Sellmer, Dirk: Untersuchungen zur Verbesserung des Arbeitsergebnisses beim Vollbohren unter besonderer Berücksichtigung der Prozesskräfte und der Spanbildung, 2010.

Band 11

Eggers, Daniel: Entwicklung von Dienstleistungsportfolios bei Investitionsgüterherstellern – dargestellt am Beispiel der maritimen Industrie, 2009.

Band 12

Kindler, Jörg: Werkstückqualität und Standzeitoptimierung von Zerspanwerkzeugen bei der Umrissbearbeitung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, 2010.

Band 13

Frömming, Hanno: Zerspanung von WC-Co-Hartmetall im unterbrochenen Schnitt, 2011.

Band 14

Schweitzer, Thomas: Nutzungsgradsteigerung verketteter Produktionslinien, 2011.

Band 15

Wagner, Lars Arne: Szenariobasierte Planung und Steuerung mit Simulation im Schiffbau, 2011.

Band 16

Schäfer, Christoph: Einsatzmodell zur systematischen Nutzung von Virtueller Realität in der Unikatproduktion, 2012.

Band 17

Hartmann, Dirk: Delamination an Bauteilkanten beim Umrissfräsen kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe, 2012.

Band 18

Kuyumcu, Arif: Modellierung der Termintreue in der Produktion, 2013.

Band 19

Czumanski, Thomas: Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion, 2013.

Band 20

Schütte, Christoph: Bohren und Hobeln von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen unter besonderer Berücksichtigung der Schneide-Faser-Lage, 2014.

Band 21

Wandt, Robert: Modellgestützte Fertigungssteuerung in der Unikatfertigung am Beispiel des Schiffbaus, 2014.

Band 22

Eichenseer, Christiane: Beschichtung, thermomechanische Charakterisierung und Spannungsanalyse von Schneidkeramik, 2014.

Band 23

Heinig, Martin: Nutzung von Virtuellen Technologien für die Montageplanung von Unikaten, 2015.

Band 24

Körkel, Gregor K.: Zerspanbarkeitsbewertung von Faserverbundkunststoffen bei der Fräsbearbeitung dünnwandiger Bauteile in der Großserie, 2015.

Band 25

Ramirez Martinez, Juan A.: Flexible Automated Assembly Systems for Large CFRP-Structures using Geometrical and Force Information, 2015.

Band 26

Dose, Frank: Methode zur wissensbasierten Prozessentwicklung - Ein Ansatz für die Berücksichtigung sich wandelnder Teilsysteme beim Bohren von Schichtverbunden, 2015.

Band 27

Trzyna, Daniel: Modellierung und Steuerung von Eilaufträgen in der Produktion, 2015.

Band 28

Griefahn, Dominik: Geometrieprüfung innerer Strukturen von Faserverbund-Sandwichbauteilen, 2015.

Band 29

Borrmann, Christof: Adaptive Montageprozesse für CFK-Großstrukturen mittels Offline-Programmierung von Industrierobotern, 2016.

Band 30

Klingelhöller, Christian: Trennschleifen von CFK-Schalenbauteilen mit räumlich gekrümmten Konturen, 2016.

Band 31

Titov, Fedor: Technologiegestützte Angebotserstellung für den Umbau komplexer Investitionsgüter, 2016.

Band 32

Tietze, Florian: Analyse und Verbesserung der Arbeitsproduktivität in der Unikatproduktion, 2017.

Band 33

Geis, Tobias: Bearbeitungsstrategien zur Zerspanung von Faser-Verbund-Honeycomb-Sandwich, 2017

Band 34

Koppold, Nico: Kapazitätsplanung und -steuerung in der Instandhaltungsproduktion von Investitionsgütern, 2017.

Band 35

Halata, Philipp Sebastian: Augmented-Reality-gestützte Informationsbereitstellung für die Unikatproduktion, 2018.

Band 36

Brüggemann, Felix: Bauteilqualität und Werkzeugverschleiß beim Fräsen von CFK-Gelege unter räumlichen Eingriffsbedingungen, 2018.

Band 37

Benter, Martin: Analyse von Bewegungsabläufen mit 3D-Kameras, 2018.

Band 38

Koch, Christoph: Wertstromanalyse und -design für Auftragsfertiger, 2018.

Band 39

Cordes, Marcel: Modellierung von Bahngenauigkeit und dynamischer Stabilität beim robotergeführten Fräsen, 2019.

Band 40

Piontek, Andreas: Modellierung der Termintreue im Auftragsdurchlauf, 2020.

Band 41

Grabner, Constantin: Methodengestütztes Produktivitätsmanagement. Entwicklung eines datenbasierten Vorgehens, 2020.

Band 42

Glöckner, Robert: Entwicklung eines Gesamtmodells der Arbeitsproduktivität und der logistischen Zielgrößen, 2020.

Band 43

Schröder, Henrik: Kompetenzentwicklung in der Montage mit Hilfe virtueller Technologien, 2020.

Band 44

Engehausen, Friederike: Modellierung und Auslegung der Reihenfolgebildung mit Rüstfamilien, 2021.

Band 45

Sikorra, Jan Niklas: Frühzeitige Aufwands- und Termineinschätzung der schiffbaulichen Unikatproduktion, 2021.

Band 46

Haux, Moritz A.: Modellierung von Unsicherheiten in der Planung der Unikatproduktion, 2021.

Band 47

von Wenserski, Robert: Helixfräsen und Bohren von laseradditiv gefertigten Bauteilen aus Titan für Luftfahrtanwendungen, 2021.

Band 48

Meluzov, Nikolaj: Informationsmanagement für ein digitales Instandhaltungsassistenzsystem, 2022.