



## Abschlussbericht

Verbundvorhaben

### „Produktivitätsmanagement in schiffbaulichen Produktionsprozessen ermöglichen (PROSPER)“

Teilvorhaben „Basis-Methoden (BASIS)“

Antragsteller

**Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding**

Forschungsstelle

**Technische Universität Hamburg-Harburg**

**Institut für Produktionsmanagement und -technik**



Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 03SX337A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

---

**Autoren**

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Dr.-Ing. Axel Friedewald

Dipl.-Ing. Philipp Sebastian Halata

Dipl.-Ing. Florian Tietze

Dipl.-Ing. Fedor Titov

27. Januar 2016

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Einführung.....	1
Stand der Wissenschaft und Technik.....	2
Produktivitätsmanagement im Schiffbau.....	2
Produktivität und Wertschöpfung in der Unikatfertigung.....	3
Produktivitätsmessung und -analyse.....	4
Beitrag integrierter Produktionssysteme.....	5
Technologiegestützte Produktivitätssteigerung.....	6
Kontextabhängige Informationsversorgung.....	6
Einsatz von VR im Planungsprozess.....	7
Augmented-Reality-Technologie für die Montageausführung.....	8
Soll-Ist-Abgleich (Laserscan).....	10
Planung und Ablauf des Vorhabens.....	11
1 Produktivitätsmanagement-Systematik.....	12
1.1 Szenarioaufbereitung.....	12
1.1.1 Szenariobeschreibung.....	12
1.1.2 Szenarioanalyse.....	14
1.1.3 Anforderungen an die Informationsversorgung.....	15
1.1.4 Anforderungen an die Hardware/Software.....	16
1.2 Maritimes Produktionssystem.....	17
1.2.1 Allgemeiner Arbeitszyklus Schiffbau.....	17
1.2.2 Initialisierung maritimes Produktionssystem.....	19
1.2.3 Verifikation und Bewertung.....	21
1.3 Methoden des Produktivitätsmanagements.....	23
1.3.1 Produktivitätsmessung im Engineering.....	23

1.3.2 Produktivitätsanalyse in der Produktion .....	29
1.3.3 Fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung in Prozessen .....	37
1.3.4 Methodenübergreifende Datenaggregation und -aufbereitung.....	42
1.3.5 Ursachenanalyse und Maßnahmenableitung.....	48
1.3.6 Produktivitätscockpit .....	52
2 Technologievorbereitung .....	56
2.1 Generierung der Planungsdaten zur Technologieunterstützung .....	56
2.1.1 Verbesserung der Planungsqualität am Beispiel der Retrofit-Montage .....	57
2.1.2 Konzept zur aktivitätenspezifischen zeichnungsfreien Informationsversorgung ....	66
2.1.3 Erstellung taktbezogener Informationen .....	76
2.1.4 Markierungssystematik zur vereinfachten Positionierung von Bauteilen .....	81
2.2 Gesamtdatenmodell .....	87
2.2.1 Erzeugung der Planungsdatenbasis für die Retrofit-Montage.....	87
2.2.2 Erzeugung der aggregierten Datenbasis.....	93
3 Technologieeinsatz zur Produktivitätssteigerung .....	97
3.1 Technologiespezifische Eignungsuntersuchung .....	97
3.1.1 Technologien zur Ist-Aufnahme .....	97
3.1.2 Technologiescreening Displaytechniken .....	103
3.1.3 Technologiescreening AR.....	105
3.2 Vor-Ort-Einsatz.....	110
3.2.1 Digitale Arbeitsunterlagen für den mobilen Einsatz der zeichnungsfreien Informationsversorgung .....	110
3.2.2 Digitale Arbeitsunterlagen für den mobilen Einsatz im Retrofit .....	111
3.2.3 Digitale Arbeitsunterlagen für den Vor-Ort-Einsatz in der getakteten Montage ..	115
3.3 Technologieeinsatz im Szenario.....	120
3.3.1 Technologieeinsatz der ZIV / Markierungssystematik im Szenario.....	120
3.3.2 Technologieeinsatz AR in der getakteten Unikatfertigung .....	126
3.3.3 Technologieeinsatz AR zum Retrofit.....	130

---

3.4 Evaluierung.....	134
3.4.1 Evaluierung der ZI / Markierungssystematik.....	134
3.4.2 Evaluierung der AR in der getakteten Unikatfertigung .....	136
3.4.3 Evaluierung der Retrofit-Verfahren.....	138
3.4.4 Evaluierung der Produktivitätsanalyse in der Produktion.....	141
3.4.5 Evaluierung der fallbasierten Ist-Zeit-Erfassung.....	142
3.4.6 Evaluierung der Produktivitätsmessung im Engineering.....	143
3.4.7 Produktivitätsverbesserung (gesamt) .....	144
3.4.8 Technologie-Roadmap.....	146
4 Veröffentlichungen.....	148
5 Literaturverzeichnis.....	151

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zuordnung von Szenarien und Technologien zu den Verbundpartnern .....	12
Abbildung 2: Allgemeiner Arbeitszyklus im Schiffbau.....	17
Abbildung 3: Auszug aus den identifizierten Produktivitätstreibern.....	18
Abbildung 4: Maritimes Produktionssystem .....	20
Abbildung 5: Phasen im Engineeringprozess .....	23
Abbildung 6: Übersicht der Kenngrößen für die maritime Industrie .....	25
Abbildung 7: Beispiel einer Tätigkeitshierarchie.....	31
Abbildung 8: Beispiel einer Objekthierarchie .....	31
Abbildung 9: Auszug aus der Tätigkeits-Objekt-Matrix .....	32
Abbildung 10: Rundgang einer Multimomentaufnahme.....	34
Abbildung 11: Beispiel für einen Aufnahmebogen .....	35
Abbildung 12: Kennzahlen auf Basis der Messgrößen .....	36
Abbildung 13: Darstellung der Prozessebenen .....	37
Abbildung 14: Prinzip des generischen Ablaufs .....	38
Abbildung 15: Ist- und Soll-Prozess zum Einbau eines Rohrstranges mit AR-Technologie .	39
Abbildung 16: Vorgehen bei der Verwendung der Applikation zur Datenerfassung .....	40
Abbildung 17: Screenshot der Applikation für die Datenerfassung .....	41
Abbildung 18: Beispielauswertung mit Microsoft Excel .....	41
Abbildung 19: Eingabefenster für die Selbstaufschreibung.....	42
Abbildung 20: Aggregationsebenen.....	43
Abbildung 21: Aggregation von unterschiedlichen Erfassungen .....	44
Abbildung 22: Datengrundlage .....	45
Abbildung 23: Bewertung der Praxisdaten .....	46
Abbildung 24: Datenbankstruktur des Produktionscockpits .....	47
Abbildung 25: Standardisierte Ursachen .....	48
Abbildung 26: Beispiel für eine Ursachenanalyse für ein Handlungsfeld (allgemein).....	49
Abbildung 27: Auszug aus der Methodendatenbank.....	50
Abbildung 28: Screenshot des Produktionscockpits .....	53
Abbildung 29: Layout des Auswertungstools.....	55
Abbildung 30: Erfassung und Aufbereitung der Ist-Geometrie .....	58
Abbildung 31: Basisbereich Fragebogen .....	59
Abbildung 32: Systematik zur Auswahl der Aufnahmetechnologie.....	60
Abbildung 33: Lastenheft für die Aufarbeitung des Planungsmodells .....	61
Abbildung 34: Kriterien für die Auswahl der Varianten für Retrofit .....	63
Abbildung 35: Bewertungsmethoden zum Vergleich verschiedener Retrofit-Varianten....	64
Abbildung 36: Nutzwertanalyse für die Bewertung von Retrofit-Varianten .....	64
Abbildung 37: Demontageoperationen beim Retrofit .....	65
Abbildung 38: Baumdiagramm.....	67
Abbildung 39: Informationsfluss an den Werker im Maschinenbau .....	69
Abbildung 40: 2D-Ansicht eines Schiffausschnitts .....	72
Abbildung 41: Farbliche Segmentierung eines Schiffausschnitts .....	73
Abbildung 42: Hinderniskarte einer Schiffsumgebung .....	73
Abbildung 43: Vollständige Karte einer Schiffsumgebung.....	74
Abbildung 44: Finale Segmentierung der Schiffsumgebung.....	75
Abbildung 45: Zwei Beispiele für Mittels A*-Algorithmus gefundene Pfade .....	76

Abbildung 46: Fragebogen zur Aufnahme der Abhängigkeiten in einer Fertigung (Teil 1) .77	
Abbildung 47: Fragebogen zur Aufnahme der Abhängigkeiten in einer Fertigung (Teil 2) .78	
Abbildung 48: Taktplan Testraum .....	80
Abbildung 49: Metadaten der Testumgebung inkl. Taktplan .....	81
Abbildung 50: Umgesetzter Taktplan.....	81
Abbildung 51: DOD-Prinzip.....	82
Abbildung 52: Continuous-Jet-Verfahren .....	83
Abbildung 53: Auswahl von Verzweigungen.....	84
Abbildung 54: Markierung für Standard-Leiter (inklusive Bezeichnung der Bestandteile) .85	
Abbildung 55: Markierung Typ 2 mit Textkommentar .....	86
Abbildung 56: Markierung Typ 2 mit Symbol.....	86
Abbildung 57: Aufteilung der AOI im Bereich des Abgasschachts.....	88
Abbildung 58: Eingabemaske Prozesskonfigurator.....	89
Abbildung 59: Klassen für ergonomische und sicherheitsrelevante Informationen .....	91
Abbildung 60: Beispiel für eine Ergonomieauswertung in einem kritischen Bereich.....	92
Abbildung 61: Integration bestehender 3D-PDF-Anleitungen (MAN) in Ist-Geometrie.....	92
Abbildung 62: Schema des Produktionsdatenmodells .....	94
Abbildung 63: Detailliertes Produktionsdatenmodell (Übersicht der Datenbankstruktur) 95	
Abbildung 64: Unterschiedliche Datenformate in der digitalen Arbeitsunterlage.....	96
Abbildung 65: Bewertungen.....	100
Abbildung 66: Abhängigkeiten zwischen Einflussgrößen und Ist-Geometrie-Aufnahme..101	
Abbildung 67: Funktionsprinzip des Aufnahmeverfahrens mit 3D-Kameras.....	102
Abbildung 68: Auszug aus der Anleitung des Photogrammetrie-Kits.....	103
Abbildung 69: Bewertungsschema für AR-Geräte, Betriebssysteme und Software.....	105
Abbildung 70: Screenshot des AR-Grund-Prototyps.....	106
Abbildung 71: Entstehungshistorie der AR-Prototypen.....	107
Abbildung 72: Filterung der 3D-Geometrie für die arbeitsschrittspezifische Anzeige .....	107
Abbildung 73: Einblendung von Geometrie in ein Miniaturmodell .....	108
Abbildung 74: Vergleich bestehender (blau) und neuer (grün) Trackingverfahren .....	109
Abbildung 75: Softwaredesign für Angebotserstellung und Variantenplanung.....	112
Abbildung 76: Screenshot des Prototyps mit eingeblendeten SCR-Komponenten.....	113
Abbildung 77: Einblendung eines SCR ohne (links) und mit Occlusion-Modellen (rechts)114	
Abbildung 78: Systemdesign für die Digitale Arbeitsunterlage .....	115
Abbildung 79: Screenshot des CAD-Modus mit Testdatensatz der Meyer Werft .....	117
Abbildung 80: Screenshot aus dem Vor-Ort-Einsatz unter Verwendung von AR .....	117
Abbildung 81: Referenzbauteile im Beispielszenario.....	118
Abbildung 82: Beispiel für die automatische Erzeugung der Bemaßung.....	119
Abbildung 83: Pflichtenheftkonfiguration für die ZIV .....	120
Abbildung 84: Pflichtenheftkonfiguration für die Markierungssystematik .....	121
Abbildung 85: Oberfläche der DigiMAus2Go-Anwendung nach der Revision.....	122
Abbildung 86: Phasenmodell der Prozessintegrationssystematik.....	124
Abbildung 87: Entscheidungshilfe zur Einführungsart .....	125
Abbildung 88: Pflichtenheftkonfiguration für AR in der getakteten Unikatfertigung .....	127
Abbildung 89: Screenshot eines Azubis der Digitalen Arbeitsunterlage .....	127
Abbildung 90: Verbaurichtungsauswahl in der Digitalen Arbeitsunterlage .....	129
Abbildung 91: Pflichtenheftkonfiguration für AR zum Retrofit .....	131
Abbildung 92: Angebotsvisualisierung eines SCR (links) und Variantenplanung (rechts) .132	

---

Abbildung 93: Einblendung von Komponenten des Abgasreinigungssystems .....	132
Abbildung 94: Prototypische Einblendung von Montageanweisungen.....	133
Abbildung 95: Der entwickelte Prototyp DigiMAus2Go im Testeinsatz .....	135
Abbildung 96: Die Digitale Arbeitsunterlage im Praxiseinsatz während der Evaluation ...	136
Abbildung 97: Finale Version der Benutzeroberfläche .....	137
Abbildung 98: Finale Benutzeroberfläche der Variantenplanung. ....	139
Abbildung 99: Ein mit dem Verfahren aufgenommener Motor an Bord eines Schiffes....	140
Abbildung 100: Gemittelte Auswertung von vier Werften und zwölf Werftbereichen ....	141
Abbildung 101: Ausschnitt aus der Videoanalyse .....	143
Abbildung 102: Definition eines Mitarbeiterzustandes .....	144



## Einführung

Die maritime Branche in Deutschland ist weltweit technologisch führend und hat national eine herausragende wirtschaftliche Bedeutung. Allerdings steht sie in einem intensiven Wettbewerb insbesondere mit asiatischen Marktteilnehmern. Dieser Wettbewerb wird sich weiter verschärfen; es ist absehbar, dass asiatische Unternehmen zunehmend in den Spezialschiffbau drängen und dort ihre Lohnkosten- und Größenvorteile ausspielen werden. Daher benötigt die deutsche maritime Industrie auf absehbare Zeit überdurchschnittlich hohe Produktivitätssteigerungen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, gemeinsam mit führenden Unternehmen aus der deutschen maritimen Industrie die Voraussetzungen hierfür zu schaffen. Dafür wurden im Einklang mit dem Förderprogramm des BMWi „Maritime Technologien der nächsten Generation“ [1] Lösungen erarbeitet, die Kerninhalte eines maritimen Produktionssystems bilden. Dieser Ansatz fördert den Strukturwandel des Schiffbaus hin zu einer hochflexiblen, jedoch gleichzeitig äußerst produktiven und qualitätsorientierten Industrie.

Zentrale Idee ist es, organisatorische Ansätze des Produktivitätsmanagements mit modernen Informationstechnologien wie Augmented Reality zu verbinden. Anders als in der Serienfertigung nehmen in der schiffbaulichen Unikatproduktion vorbereitende Tätigkeiten wie die Orientierung, die Materialhandhabung und -positionierung wesentlich mehr Zeit in Anspruch als die eigentliche Wertschöpfung. Deshalb war es das Ziel, Methoden zu entwickeln, die

- Transparenz über die Zeitanteile wertschöpfender und nicht wertschöpfender Tätigkeiten im Bereich Montage herstellen und
- den Zeitbedarf für die vorbereitenden Tätigkeiten durch kontextspezifische Bereitstellung von Information drastisch verkürzen.

Weil dazu eine genauere Planung erforderlich ist, muss sich auch die Produktivität im Bereich des Engineerings verbessern, um eine Verlagerung des Aufwands von der Montage in die Planung und Konstruktion zu vermeiden.

Die Beteiligung von Werften mit unterschiedlichem Produktspektrum und Zulieferern sichert die Übertragbarkeit der Lösungen auf weitere Unternehmen der maritimen Industrie.

## Stand der Wissenschaft und Technik

Die Produktivität ist allgemein definiert als das Verhältnis des Outputs zum Input eines Systems [6]. Ihre Optimierung ist ein wesentliches Ziel produzierender Unternehmen, um die Interessen von Kunden, Kapitalgebern oder Arbeitnehmern zu erfüllen und um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten [7], [8]. Eine gängige Unterscheidung nach Weber teilt die Produktivität auf in die Bereiche Arbeitsproduktivität, Maschinenproduktivität und Materialproduktivität [9].

Schwerpunkt des Verbundvorhabens ist die Arbeitsproduktivität in der schiffbaulichen Produktion. Sie wird häufig in CGT (Compensated Gross Tonnage) pro eingesetzter Fertigungsstunde angegeben. Ihre stetige Verbesserung spielt für die Wettbewerbsfähigkeit des Schiffbaus am Hochlohnstandort Deutschland eine entscheidende Rolle. Zwar konnten die Werften die Arbeitsproduktivität im Handelsschiffbau in den letzten Jahrzehnten deutlich steigern; das Produktspektrum der großen deutschen Werften umfasst heute jedoch überwiegend Spezialschiffe, die individuelle Kundenwünsche berücksichtigen und somit in Unikatbauweise ohne Mengenvorteile gebaut werden müssen [10], [11].

So ist es für die deutschen Werften wichtig, schnell und flexibel auf Kunden- und Marktanforderungen zu reagieren und in den flexiblen Produktionsprozessen trotzdem eine sehr hohe Arbeitsproduktivität zu erzielen. Aktuelle Untersuchungen des Instituts für Produktionsmanagement und -technik zeigen jedoch exemplarisch, dass noch erhebliche Produktivitätspotenziale insbesondere bei der Arbeitsproduktivität bestehen [12].

### Produktivitätsmanagement im Schiffbau

Das wesentliche Potenzial zur Steigerung der Arbeitsproduktivität liegt im verbesserten Zusammenspiel zwischen dem Engineering und insbesondere der Montage einer Werft. Die Wechselwirkungen dieser Bereiche, wie in Abschnitt I.2 beschrieben, erfordern gegenüber der Serienproduktion neue Verfahren zur Erfassung, Bewertung, Verbesserung und Sicherung der Produktivität [13]. Bisher fehlt für die schiffbauliche Unikatproduktion ein wissenschaftlich fundierter Ansatz für ein Produktivitätsmanagement, das die Möglichkeiten moderner Kommunikationstechnologien systematisch integriert. Zwar hat die Mehrzahl der deutschen Werften in den vergangenen Jahren Initiativen gestartet und Instrumente zur Produktivitätssteigerung eingesetzt; eine allgemein anwendbare Vorgehensweise existiert allerdings nicht.

In vorangegangenen Forschungsprojekten wie AUSSTEUER und GENESIM lagen die Forschungsschwerpunkte auf der Organisationsentwicklung zur Verbesserung von Zielgrößen der Fertigungssteuerung bzw. im Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionsplanung und -steuerung [14], [15]. Die Analyse von Produktivitätsdaten bis auf die Tätigkeitsebene in der Montage betrachteten beide Projekte ebenso wenig wie die integrier-

te Analyse von Engineering-Aufwand und Produktivitätseffekten im operativen Bereich. Das DFG-Forschungsprojekt IHP befasst sich mit der Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion [4]. Grundüberlegungen zur Datenerfassung und -aufbereitung sind für das geplante Vorhaben zwar hilfreich; in der komplexen Unikatfertigung ergeben sich allerdings völlig neue Forschungsaspekte: Z. B. ist es nicht möglich, aus der Analyse einzelner Tätigkeiten oder Arbeitsplätze Rückschlüsse auf Produktivitätsverluste innerhalb eines längeren Zeitraums zu ziehen, da der Wiederholungscharakter nicht vorliegt.

Das Produktivitätsmanagement lässt sich nach Sink [16] generell in vier Teilschritte gliedern, die auch in einzelnen Unternehmensbereichen angewendet werden können:

- Erhebung, Aufbereitung und Analyse von Produktivitätsdaten
- Entwicklung und Planung von Maßnahmen zur Steigerung der Produktivität
- Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen
- Controlling und Sicherung der Verbesserungen

Diese Teilschritte konstituieren einen Regelkreis, mit dem sich die Produktivität von Produktionsprozessen nachhaltig steigern lässt. Er ähnelt im Aufbau dem Deming-Zyklus, der in Problemlösungsprozessen in Unternehmen unter dem Begriff PDCA-Zyklus weit verbreitet ist [17], [18]. Das Vorhaben soll alle vier Schritte für die Unikatproduktion im Schiffbau entwickeln, mit dem Schwerpunkt des Einsatzes technischer bzw. informationstechnologischer Hilfsmittel für die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen (Schritt 3).

### **Produktivität und Wertschöpfung in der Unikatfertigung**

Für die Unikatfertigung im Schiffbau gilt gegenüber der Serienproduktion, dass sich die Tätigkeiten der Mitarbeiter der Montage nicht ständig wiederholen. Die Abläufe weisen zwar naturgemäß Ähnlichkeiten auf; jedoch ändern sich beispielsweise die zu fügenden Teile, die Montagereihenfolge, der Verbauort, die benötigten Werkzeuge und Hilfsmittel, die Teileposition oder auch Fügeparameter. Diese Tätigkeiten zur Vorbereitung des eigentlichen Montageprozesses sind nach Ohno, dem Entwickler des Toyota-Produktionssystems (TPS), Verschwendung bzw. Produktivitätsverluste, da sie nicht unmittelbar dem Wertzuwachs des Produktes dienen [19].

Entsprechend sollen im Verbundvorhaben Produktivitätstreiber definiert und systematisiert werden, um mit geeigneten Hilfsmitteln der Verschwendung entgegenwirken und den Zeitanteil wertschöpfender Tätigkeiten in den Abläufen zu erhöhen. Um die Produktivitätsverluste zunächst identifizieren zu können, soll eine Methode zur Erhebung, Aufbereitung und Analyse von Produktivitätsdaten entwickelt werden (Schritt 1 des Produktivitätsmanagement-Zyklus).

Die Prozesse im indirekten Bereich unterliegen ebenfalls Produktivitätsverlusten [20]. Die Produktivitätsmanagement-Systematik für die Unikatproduktion muss die Produktivität der

zugehörigen Engineering-Prozesse einbeziehen, da beispielsweise eine Verbesserung der Planqualität zwar Produktivitätsgewinne in der Montage bewirken kann, jedoch auch einen Mehraufwand in der Konstruktion und Planung. Eine Bewertungsmöglichkeit für den Engineering-Bereich ist also ebenso notwendig.

### **Produktivitätsmessung und -analyse**

Allgemein lassen sich die formalen Verfahren zur Analyse der Produktivität in drei Gruppen unterteilen [21]:

- Produktivitätsindizes,
- Lineare Programmierungsmethoden und
- Ökonometrische Modelle.

Hinzu kommen Benchmarkstudien, die einen bereichs- oder unternehmensübergreifenden Vergleich von Produktivitätsdaten erlauben [22].

Die genannten Ansätze sind insbesondere aus zwei Gründen für die Produktivitätsanalyse in der industriellen Produktion nicht zielführend: Die ersten drei Verfahren liefern nur abstrakte Ergebnisse auf Basis theoretischer Annahmen, d.h. die Ursachen für Produktivitätsverluste können weder identifiziert noch den Verlusten zugeordnet werden. Des Weiteren eignen sich alle Verfahren aufgrund des geringen Detaillierungsgrades allenfalls als Instrument zur mittel- bis langfristigen Anpassung von Produktionsprozessen.

Für die Analyse der Produktivität im Schiffbau muss ein Verfahren entwickelt werden, das unabhängig vom Unternehmen in der schiffbaulichen Unikatproduktion verwendet werden kann und es ermöglicht, die wertschöpfenden und die genannten nicht wertschöpfenden Zeitanteile in der Montage zu bestimmen.

Die Analyse soll hierzu jedoch nicht auf Systeme vorbestimmter Zeiten (z. B. MTM, [6]) zurückgreifen. Solche Methoden sind vor allem in der personalintensiven Serienproduktion einsetzbar, führen aber schon dort zu einem hohen Analyseaufwand. Für die komplexe Unikatproduktion des Schiffbaus sind sie daher nur bedingt geeignet.

Vorteilhafter erscheinen hingegen die Prinzipien des Multimoment-Häufigkeitsverfahrens (MMH) oder des Multimoment-Zeitmessverfahrens (MMZ) [23], [24]. Sie erlauben die Analyse verschiedener Tätigkeitsarten und damit auch die Unterscheidung wertschöpfender und nicht wertschöpfender Zeitanteile. Allerdings sind auch diese Verfahren sehr zeitaufwendig sowohl in der Planung als auch in der Durchführung.

Die Unikatproduktion benötigt Erfassungsmethoden, die relativ aufwandsarm mit Hilfe einer geschickten Aggregationslogik über verschiedene Prozesse hinweg die für die Analyse erforderlichen Daten liefern. Hilfreich zumindest für einen Teil der angestrebten Erfassungsmethode erscheint das Verfahrensprinzip zur Rüstablaufanalyse nach Frühwald [25]. Es ordnet

auf sehr einfache Weise Sets von Tätigkeiten (Spannen, Einstellen, Säubern etc.) und Objekten (Werkzeuge, Hilfsmittel, Material etc.) so zu, dass sich beliebige Rüstabläufe beschreiben lassen.

Die Analyse selbst soll auf universell erfassbare Kennzahlen und Standarddarstellungen zurückgreifen. Auswertungen existieren bislang auf verschiedene Weise in den einzelnen Unternehmen. Ziel soll es hier sein, Standards zu schaffen für die schiffbauliche Unikatfertigung durch Verwendung der mit neuen Erfassungsmethoden erhaltenen Daten. Diese Standards liegen bislang nicht vor.

Direkt an die Analyse muss sich die Möglichkeit anschließen, auf Basis identifizierter Produktivitätsverluste geeignete Verbesserungsmethoden auszuwählen, um die richtige Priorisierung von Maßnahmen sicherzustellen (Schritt 2 des Produktivitätsmanagement-Zyklus). Ein entsprechender Mechanismus wird derzeit im DFG-Forschungsprojekt IHP für die Auswahl von Standardverbesserungsmethoden in der Serienproduktion entwickelt. Für die schiffbauliche Unikatfertigung ist dieser so zu erweitern und auszulegen, dass sich die neu entwickelten technischen Hilfsmittel den identifizierten Handlungsfeldern zuordnen lassen. Die Vorgehensweise wird damit auch ein übergeordnetes Element zur Methodenauswahl aus dem maritimen Produktionssystem.

Ein Verfahren zur Produktivitätsbewertung für Engineering-Prozesse komplexer Unikate existiert bislang nicht. Es wurden lediglich Wirtschaftlichkeitsberechnungen, z. B. für den Einsatz von VR-Systemen, durchgeführt, jedoch keine produktivitätsorientierte Betrachtung vorgenommen [5]. Hierzu geben Ansätze der sogenannten „Lean Administration“ und Verfahren zur Zeitdatenermittlung in administrativen Bereichen Hinweise, welche Kenngrößen zur Beurteilung der Produktivität verwendet werden können [26], [27]. So eignet sich beispielsweise die Anzahl der erfüllten Qualitätsmerkmale in den Arbeitsunterlagen oder auch der Abarbeitungsgrad als Output. Auf Inputseite beschränkt sich die Erfassung der Bearbeitungszeiten bislang auf die Nutzung von Workflow-Management-Systemen [20]. Das Forschungsvorhaben sieht hier jedoch vor, die entsprechenden Aufwände ohne den Einsatz zusätzlicher „messenger“ IT-Systeme zu bestimmen.

### **Beitrag integrierter Produktionssysteme**

In den letzten beiden Jahrzehnten haben sich ausgehend von der Automobilindustrie Produktionssysteme wie das TPS auch in vielen anderen Branchen etabliert [28]. Im Deutschen werden diese Rahmenkonzepte oft unter den Begriffen „ganzheitliche“ oder „integrierte Produktionssysteme“ geführt. Ein solches Konzept hat in allgemeiner Form für den Schiffbau bislang keine Verbreitung gefunden, obwohl einzelne Unternehmen durchaus verschiedene Elemente der schlanken Produktion in ihrer Produktionsorganisation etabliert haben [29].

Der Aufbau ganzheitlicher Produktionssysteme lässt sich gliedern in (1) Generelle Ziele, (2) Gestaltungsfelder und entsprechende Teilziele, (3) Methoden bzw. (4) Hilfsmittel für die je-

weiligen Gestaltungsfelder. Allgemein reichen diese z. B. von der Fertigungssteuerung über die Standardisierung bis hin zur Produktgestaltung. Eine solche Bandbreite an Gestaltungsfeldern verlangt auch das Förderprogramm „Maritime Technologien der nächsten Generation“ des BMWi.

Das Forschungsvorhaben muss dieser Forderung nachkommen, indem es Teilzeile und Gestaltungsfelder für die schiffbauliche Unikatfertigung zunächst anhand der Forschungsinhalte strukturiert und somit den Grundaufbau des maritimen Produktionssystems vorgibt. Entsprechend können die entwickelten Methoden und Hilfsmittel zugeordnet werden. Der Aufbau des maritimen Produktionssystems ist dabei so zu wählen, dass sich weitere Ziele, Gestaltungsfelder, Methoden und Hilfsmittel integrieren und ergänzen lassen. Damit würde die Möglichkeit entstehen, ein umfassendes und allgemein verwendbares Produktionssystem für den deutschen Schiffbau zu gestalten.

## **Technologiegestützte Produktivitätssteigerung**

Der vorherige Abschnitt verdeutlicht, wie wichtig ein systematischer Produktivitätsmanagement-Ansatz für die schiffbauliche Unikatproduktion ist. Um die angestrebten Produktivitätssteigerungen zu erreichen, ist eine genaue Planung notwendig, die unter den gegebenen Umständen meist schwierig zu realisieren ist.

Zwar beschreiben viele Werften die Arbeitspakete heute bereits sehr detailliert, allerdings gelingt es ihnen noch nicht, diese Informationen in geeigneter Form und zum erforderlichen Zeitpunkt dem Werker in der Produktion zur Verfügung zu stellen. Die heute vielfach übliche Nutzung nicht-digitaler Informationsträger verursacht mit der Informationszunahme immer größere Probleme. Entsprechend sollen neue technologiegestützte Konzepte entwickelt werden, um die Information so nutzergerecht zur Verfügung zu stellen, dass sich die gewünschten Produktivitätsziele erreichen lassen. Sinnvolle Hilfsmittel für einen derartigen Einsatz sind neben der klassischen Bildschirmanzeige auch Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR). Obwohl diese Technologien schon seit vielen Jahren erforscht werden, haben sie noch keinen durchgängigen Einsatz im maritimen Bereich gefunden [30].

## **Kontextabhängige Informationsversorgung**

Die Informationsversorgung ist ein elementares Problem für die Ausführung von komplexen Tätigkeiten. Für diese ist es erforderlich, alle notwendigen Informationen am entsprechenden Ort zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stellen, so dass diese für die entsprechende Person nutzbar sind [31]. Prinzipiell sind die benötigten Informationen für eine derartige kontextabhängige Informationsversorgung [32] bereits vorhanden, jedoch ist der Zugang oft schwierig, zeitintensiv oder örtlich limitiert [33]. Die Verwendung der Informationen darf keinen hohen Aufwand darstellen, sondern muss von der entsprechenden Person einfach und intuitiv möglich sein. Um eine bedarfsgerechte Informationsversorgung zu erreichen, ist

es häufig erforderlich, die Daten zusätzlich anzureichern, so dass ein Werker die Informationen zu den einzelnen Arbeitsschritten aufrufen kann.

Die bisherige Informationsversorgung vor Ort beschränkt sich allerdings meist auf ausgedruckte 2D-Zeichnungen, Excel-Listen oder Arbeitsanweisungen. Ein Nachteil der Papierlösung ist das schwierige Auffinden der gerade benötigten Informationen. Insbesondere besitzen 2D-Zeichnungen eine hohe Informationsdichte, so dass es schwierig ist, die gerade benötigte Information zu finden. Dies schränkt die Übersichtlichkeit und die Möglichkeit ein, die Informationen situationsgerecht und personenabhängig zu reduzieren.

Beispielsweise kann die Situation eintreffen, dass zwei unterschiedliche Personen die gleiche Arbeitsunterlage benutzen müssen, aus ihr allerdings andere Informationen benötigen. Die eine Person möchte bspw. die komplette Verrohrung einer Sektion sehen, die andere nur eine bestimmte Ausrüstungskomponente. Die statische Abbildung erlaubt außerdem keine Änderung der Perspektive, so dass das Modell weder gedreht noch in der Größe skaliert werden kann und somit das Ziel der Übergang zu einem dynamischen anpassbaren Informationsträger sein muss.

Um diese Mängel zu beseitigen, soll ein Konzept zur aktivitätenspezifischen zeichnungsfreien Informationsversorgung erstellt und umgesetzt werden. Dies umfasst neben der Erstellung arbeitsvorgangsbezogener Informationen auch eine Markierungssystematik zur vereinfachten Positionierung von Bauteilen.

### **Einsatz von VR im Planungsprozess**

VR ist mittlerweile ein etabliertes Werkzeug im Planungsprozess vieler Unternehmen. Aufgrund von Projekten wie USE-VR [5] oder Power-VR [3] hat diese Technik ihren Weg in die maritime Industrie gefunden und wird kontinuierlich für die entsprechenden Besonderheiten der Unikatproduktion angepasst [34]. Auch in anderen Branchen wie dem Anlagenbau oder der Automobilindustrie ist VR bereits seit längerem für verschiedene Problemstellungen im Einsatz. Die Anwendungsfälle von VR sind dabei sehr unterschiedlich: Für Produktpräsentationen oder Design-Reviews von virtuellen Prototypen liegt der Fokus auf High-End-Visualisierung, bei der die visuelle Aufbereitung des Modells den größten Arbeitsaufwand darstellt. Um VR im Planungsprozess zu verwenden, sind vor allem die Datenkonvertierung, Prozessintegration und die Session-Vorbereitung [34] zu verbessern. Insbesondere im Power-VR Projekt sind dafür Lösungen entstanden: So wurde die Spezifikation eines Austauschformats weiterentwickelt, mit dem die Modelldaten aus 3D-CAD in VR konvertiert werden können. Eine Anbindung und Nutzung von Metadaten wurde realisiert und erlaubt es, VR-Modelle durch Filtertechnik aufzubereiten. Weiterhin wurde die Simulation unterschiedlicher Montagereihenfolgen ermöglicht, um Änderungen der Planung wie z.B. Baustategieänderungen effizient umzusetzen.

Die Verbreitung der Technologie ist im Forschungsvorhaben für die Prozessintegration weiter voranzutreiben. Diese schließt insbesondere die Montagedurchführung mit ein. Ziel ist vor allem, die Planungsqualität im Hinblick auf die spätere Informationsversorgung während der Montage zu verbessern. Dies erfordert eine Generierung der notwendigen Planungsdaten sowie die Erarbeitung einer Planungssystematik, insbesondere für die Variantenplanung im Retrofit von Schiffen. Für die VR-Untersuchungen ist eine Planungsdatenbasis mit entsprechenden Metadaten erforderlich, insbesondere mit arbeitsdurchführungsrelevanten Informationen.

### **Augmented-Reality-Technologie für die Montageausführung**

In den letzten Jahren hat sich die AR-Technologie besonders schnell weiterentwickelt. Große Verbundprojekte wie z.B. AVIKA [35] oder AVILUS [36] haben vielversprechende Nutzungspotenziale aufgezeigt und innovative Prototypen entwickelt. Im Consumer-Bereich sind AR-Anwendungen bereits in der Tourismusbranche, der Unterhaltungsindustrie und beim computergestützten gemeinschaftlichen Lernen zu finden [37]. Unabhängig vom Einsatzgebiet lässt sich ein AR-System in Anlehnung an [38] und [39] grundsätzlich in drei verschiedene Komponenten gliedern:

- Darstellung
- Tracking
- Interaktion

Die *Darstellung* unterteilt sich in stationäre Displays oder mobile Anzeigergeräte wie Tablets oder AR-Brillen. Man unterscheidet zusätzlich zwischen videobasierter und „See through“-Technologie: Die videobasierte AR-Technologie nimmt die Realität per Kamera auf, erweitert sie mit virtuellen Elementen und zeigt sie danach an. Bei „see through“ sieht der Nutzer die virtuellen Elemente auf einem durchsichtigen Anzeigergerät als direkte Überlagerung seines Sichtfeldes.

Eine weitere wichtige Komponente ist das *Tracking*. Dieses wird benötigt, um die virtuellen Objekte zur realen Umgebung ausrichten zu können. Man unterscheidet dabei zwischen markerbasierten und markerlosen Trackingverfahren.

Das Tracking kann auch den benötigten Kontextbezug herstellen, indem der Ort oder ein Marker Hinweise auf die zu selektierenden Informationen liefern.

Die *Interaktion* ist der dritte Bestandteil eines AR-Systems. Insbesondere für dynamische Inhalte ist ein Interaktionskonzept wichtig. Falls mehrere Aktionen bei der Erkennung eines Markers ausgeführt werden sollen, z. B. die schrittweise Darstellung einer Montagesequenz, benötigt man eine entsprechende Eingabemöglichkeit. Dies kann durch zusätzliche Eingabegeräte, Knöpfe am AR-Anzeigergerät oder durch eine Sprachsteuerung realisiert werden.



Obwohl Überlegungen und Konzepte zur Nutzung von AR seit vielen Jahren bestehen, sind trotz intensiver FuE-Arbeiten kaum Anwendungen bekannt, die im täglichen produktiven Einsatz die mobile Augmented Reality einsetzen und ihre Vorteile nutzen [36]. Die Automobilbranche nutzt AR, um Fertigungslinien für neue Fahrzeugprototypen zu prüfen, Variantendarstellungen für Kunden zu erzeugen und korrekte Verschraubungen bei der Montage sicherzustellen. Die Beispiele aus der Serienproduktion zeigen das Potenzial der Technologie und werfen die Frage auf, warum diese bis auf wenige Ausnahmen, wie bspw. den virtuellen Modelldraht der HDW [36], bisher so geringen Einzug in die maritime Industrie erhalten hat [40]. Eine leichte Übertragbarkeit der Konzepte der Serienfertigung auf die schiffbauliche Unikatfertigung scheint nicht gegeben zu sein.

Die Gründe dafür sind vielfältig: Ein hemmender Faktor war vor allem das Head Mounted Display (HMD). Die Anzeigespezifikationen wie Auflösung und Bildkontrast, die Robustheit, aber vor allem auch die ergonomischen Eigenschaften konnten die Anforderungen an einen Einsatz im Werftumfeld bisher nicht erfüllen. Hierzu wurden allerdings umfangreiche Weiterentwicklungen unter anderem im Projekt AVILUS geleistet, so dass zukünftig von einer generellen Einsetzbarkeit der Hardware auszugehen ist.

Eine besondere Herausforderung liegt in der Übertragung der AR-Nutzung auf die Unikatproduktion: Anders als in der Serienfertigung rechnet es sich hier nicht, für einzelne Prozessschritte spezifische AR-Lösungen zu erarbeiten, weil sich die Prozessschritte in der Unikatfertigung nicht wiederholen. Die Lösungen sind vielmehr so flexibel zu gestalten, dass sie unterschiedliche Prozessschritte möglichst ohne Zusatzaufwand abbilden können.

Ein weiteres Problem ist die bedarfsgerechte Informationsversorgung. Die Datenverfügbarkeit, Datenaufbereitung und Datennutzung muss dabei nicht nur sichergestellt, sondern auch dauerhaft in den Produktentstehungsprozess integriert werden. Die jeweiligen Daten müssen bereits in der Engineering-Phase erzeugt werden. Außerdem muss die Fehlerfreiheit gewährleistet sein, falls sich der Werker zukünftig nur noch auf die digitalen Arbeitsunterlagen verlassen soll. Um das System später erfolgreich zu betreiben, muss die Akzeptanz der Nutzer hoch sein, worauf die Benutzerfreundlichkeit einen besonders starken Einfluss hat. Bisherige Ansätze für die Bedienung von AR-Anwendungen, z. B. durch eine Sprachsteuerung, sind noch nicht produktiv einsetzbar bzw. im lauten Umfeld einer Montagehalle nur schwierig zu betreiben. Hinzu kommt, dass ein derartiges System nur sinnvoll ist, wenn sich die Arbeitsanweisungen oft ändern. Das stellt gleichzeitig die Schwierigkeit und den Anpassungsbedarf für die Unikatproduktion im Vergleich zu den Konzepten der Serienfertigung dar.

Es sind somit weitgehende Anpassungen für den Schiffbau erforderlich. Ein Konzept für den Zugriff auf die Planungsdatenbasis und Methodik zur spezifisch benötigten Informationsnutzung ist als besonders wichtiger Baustein zu sehen. Dazu sind digitale Arbeitsunterlagen notwendig und deren Nutzung mit einer situationsgerechten Anwendungssteuerung [41].

Die Besonderheiten für den Einsatz in der Unikatproduktion, insbesondere für die Montageunterstützung, müssen erforscht und umgesetzt werden.

### Soll-Ist-Abgleich (Laserscan)

Die verstärkte Planung und Konstruktion mit digitalen Modellen führt zu der Herausforderung, den realen Baufortschritt mit dem virtuellen Modell abzugleichen. Auch für die Umplanung von bereits real existierenden Objekten, die keine virtuellen Modelldaten besitzen, kann die virtuelle Planung hilfreich sein. Für den Soll-Ist-Abgleich ist eine Geometrieerfassung (Ist-Erfassung des Objektes), das Überführen in ein virtuelles Modell und eine Vergleichsmethode notwendig [42].

Es gibt verschiedene Ansätze für die Ist-Erfassung von Geometrie: Eine weit verbreitete und insbesondere im Anlagenbau eingesetzte Variante ist das *Laserscanning* [43]. Die Miniaturisierung von Laserscannern und die starke Leistungssteigerung von Hardware und Software haben die Laserscan-Technologie für den Einsatz in dieser Branche interessant gemacht. Aufgrund der ähnlich großen Datenmengen gilt dies auch für die maritime Industrie. Die Ist-Erfassung eines Bereichs im Schiff ist heutzutage ohne großen Aufwand möglich und liefert eine Punktwolke der gescannten Umgebung, die mit Fotos überlagert wird. So entsteht ein realitätsnahes Bild der Szene, in dem darüber hinaus auch Messungen zwischen einzelnen Scanpunkten möglich sind. Dies ermöglicht selbst für nicht virtuell modellierte Schiffsbereiche die Durchführung einer computergestützten Planung.

Ein anderer Ansatz ist die *fotobasierte Geometrierückführung*, was bspw. im Projekt Autodesk 123D Catch [44] verfolgt wird. Ein vergleichsweise neuer Ansatz ist das *Abfilmen von Gegenständen mit einer Kamera mit Tiefensensor* wie bei der Microsoft Kinect [45].

Bei allen Verfahren stellt sich die Frage nach dem Aufwand, der Genauigkeit und der Einbindung in den Produktplanungsprozess. Insbesondere im Projekt AVILUS wurde ein automatisierter Abgleich von Geometrien mit Laserscan und fotobasierter Erfassung durchgeführt. Als Fazit wurde allerdings festgehalten, dass aufgrund der noch fehlenden Unterstützung durch automatisch ablaufende Analysen und Abgleiche der manuelle Aufwand immer noch sehr hoch ist und dadurch weiterer Forschungsbedarf besteht [36].

Spezielle Problemstellungen wie der Retrofit von Schiffen erfordern weitere Anpassungen der bisherigen Lösungen und müssen untersucht sowie prototypisch implementiert werden. Das Ziel muss eine integrierte Methode zur weitestgehend automatischen Erzeugung von 3D-Planungsdaten sein.

## Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsvorhaben wurde nach dem im Antrag aufgeführten Arbeitsplan durchgeführt. Zur Detailplanung der Vorgehensweise und der Erarbeitung der Teilergebnisse, an denen mehrere Partner beteiligt waren, fanden insgesamt 62 Regelkommunikationstermine statt. Zur Kommunikation aller Teilergebnisse der Projektpartner untereinander wurden insgesamt sechs Industriearbeitskreise durchgeführt, an denen jeweils alle Partner sowie ggf. weitere Projektbeteiligte wie Unterauftragnehmer oder auch der Projektträger teilnahmen. Ebenfalls fand eine öffentliche Abschlussveranstaltung statt.

Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse des Projektes anhand des Arbeitsplanes beschrieben. Der Vollständigkeit halber sind auch die Arbeitspakete der Projektpartner aufgeführt (*kursiv* gekennzeichnet). Deren Inhalt befindet sich in den entsprechenden Abschlussberichten.

# 1 Produktivitätsmanagement-Systematik

## 1.1 Szenarioaufbereitung

Dieses Arbeitspaket umfasst die Beschreibung und Analyse der in den Unternehmen erarbeiteten repräsentativen Szenarien.

### 1.1.1 Szenariobeschreibung

Die Szenariobeschreibung ist die Grundlage aller weiteren Untersuchungen zur Produktivität, zum Technologieeinsatz im Engineering und in der Produktion. Jedes Unternehmen hat dabei detailliert den eigenen Themenschwerpunkt unter Verwendung einer von der TUHH entwickelten Systematik beschrieben. Alle Szenarien wurden mit einem einheitlichen Fragebogen dargestellt, der aus den Teilen allgemeine Angaben, Ausgangssituation, Anforderungen an die neue Lösung und geplante Ergebnismutzung besteht. Dies ermöglichte einen späteren Vergleich der verschiedenen Szenarien unter den für die Produktivität relevanten Gesichtspunkten. Abbildung 1 zeigt die definierten Szenarien.

Unternehmen	Szenario	Technologie
FSG	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Markierungssystematik</li> <li>• Zeichnungsfreie Informationsversorgung</li> </ul>	Mobile 3D-Visualisierung und Brennmachine
MDT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laserscanning vor Angebot</li> <li>• Laserscanning nach Angebot</li> <li>• Motortausch</li> <li>• Kurbelwelle</li> <li>• Retrofit für Trockenscrubber</li> </ul>	Laserscan, Virtual und Augmented Reality
FLW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktivitätsmessung im Engineering</li> <li>• Produktivitätscockpit</li> <li>• Produktivitätsanalyse in der Produktion</li> </ul>	Augmented Reality oder Laserscan
MW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbauteile erkennen</li> <li>• Fehlteile in Ladungsträger erkennen</li> <li>• Anzeige von Montageort für Halterung</li> <li>• Digitalisierter KO-Plan</li> <li>• Anzeigen von Kreuzungsbereichen</li> <li>• Rohrisometrien erkennen</li> <li>• Soll-Ist-Abgleich</li> </ul>	Virtual und Augmented Reality

Abbildung 1: Zuordnung von Szenarien und Technologien zu den Verbundpartnern

### **1.1.1.1 Szenariosystematik Produktivität**

Mit der Szenariosystematik zur Produktivitätsbetrachtung bereitete die TUHH für die Projektpartner Kriterien und eine einheitliche Struktur vor, um Szenarien zielorientiert zu bestimmen. So konnten solche Szenarien ausgewählt werden, die sich gut für die Anwendung der geplanten Analysemethoden eignen. Mit einer Beschreibungsvorlage erhielten die Projektpartner auch einen Leitfaden, um die Prozesse in den Szenarien standardisiert zu beschreiben. Neben der Prozessbeschreibung wurden auch verschiedene Prozessvarianten erfasst. Angaben zu der Anzahl der Prozesswiederholungen, Auswirkungen auf die vor- und nachgelagerten Bereiche sowie eine Einschätzung der erwarteten Ergebnisse und deren Nutzung ermöglichten eine gute Abschätzung des Produktivitätspotenzials.

### **1.1.1.2 Szenariosystematik Technologien Engineering**

Da das Forschungsvorhaben zum Ziel hatte, die Produktivitätsverbesserungen aufwandsneutral zu erreichen, musste bereits bei der Szenarioauswahl das Engineering für neue Technologien berücksichtigt werden. Da bisher keine geeignete Methode für die Messung der Produktivität des Engineerings vorlag, wurde zusammen mit der FLW ein Szenario zur Produktivitätsmessung im Engineering definiert. Dieses Szenario stellte die Grundlage dar, um auch bei den anderen Partnern die Auswirkungen auf das Engineering ausreichend zu messen und zu berücksichtigen. Ergänzend wurden in den Fragebögen zur Szenariodefinition Kennzahlen der Partner aufgenommen, die in einem Produktivitätscockpit zusammengefasst wurden. Es hat sich herausgestellt, dass ein Großteil der Szenarien bewirkt, dass sich Abläufe im Engineering teilweise erheblich ändern.

### **1.1.1.3 Szenariosystematik Technologien Montage**

Die Systematik hat sichergestellt, dass bereits mögliche zukünftige Prozessabläufe unter Verwendung der neuen Technologien beschrieben und der Nutzen und Aufwände detailliert abgeschätzt wurden. Dabei wurden auch Varianten der Prozesse mit berücksichtigt. Das stellt sicher, dass der Einsatz der angestrebten Informationstechnologien sinnvoll ist. Ebenfalls wurden die bestehenden Informationssysteme und deren Schnittstellen erfasst, um die Nutzung der einzelnen Technologien in den gewählten Bereichen generell einzuschätzen.

### **1.1.1.4 FLW: Szenariobeschreibung Sektionsbau/Bordmontage**

### **1.1.1.5 FSG: Szenariobeschreibung zeichnungsfreie Informationsversorgung (ZI) und Markierungssystematik (M)**

### **1.1.1.6 MW: Szenariobeschreibung getaktete Unikatfertigung**

### **1.1.1.7 MDT: Szenariobeschreibung Retrofit**

### **1.1.2 Szenarioanalyse**

Die TUHH entwickelte in diesem Arbeitspaket eine Analysesystematik, um Einflussfaktoren auf die Produktivität in der Unikatproduktion zu identifizieren und zu beschreiben. Dies sollte auch eine erste Einschätzung von Produktivitätspotenzialen in den Szenarien ermöglichen.

#### **1.1.2.1 Szenarioanalyzesystematik und -auswertungen/Produktivität**

Die TUHH erstellte eine Systematik, nach der die Projektpartner für die Szenarien Produktivitätsziele und die Anforderungen für die Zielerreichung definierten. Die Szenarioanalyse erfolgte in Workshops mit den einzelnen Projektpartnern. In diesen Workshops wurde in Zusammenarbeit mit den Unternehmen eine Szenarien-Auswahl getroffen. Die ausgewählten Szenarien wurden anschließend priorisiert. Die Auswahlkriterien waren:

- Anzahl der Wiederholungen: Je häufiger ein Prozessablauf sich wiederholt, desto öfter wird auch der Produktivitätsgewinn generiert.
- Anzahl der Mitarbeiter: Je mehr Mitarbeiter von dem Einsatz der neuen Technologie betroffen sind, desto größer ist das mögliche Produktivitätspotenzial.
- Grad der Standardisierung: Standardisierte Abläufe ermöglichen eine bessere Umsetzbarkeit und stellen sicher, dass der gewünschte Produktivitätsgewinn auch erzielt werden kann.

Ergänzt wurden diese Kriterien um grundsätzliche Aufwand-Nutzen-Betrachtungen.

#### **1.1.2.2 Szenarioanalyzesystematik/Technologien**

Mit diesem Teilschritt legte die TUHH eine Vorgehensweise für die Szenarioanalyse fest, mit der die Projektpartner die Voraussetzungen für die angestrebten Technologien und die damit verbundenen technologischen Ziele abschätzen konnten. Als Werkzeug wurde die Soll-Prozess-Modellierung gewählt, die zusammen mit den Partnern in Workshops erarbeitet wurden. Dabei wurden auch die Schnittstellen zu Informationssystemen, bereits vorhandene Ansätze und Möglichkeiten zur Übertragung auf andere Anwendungsfälle diskutiert und analysiert. Die Szenarien wurden nach Klassen geordnet und für die weitere Bearbeitung priorisiert. Abschließend wurden die Einsatzbedingungen und grundlegende Anforderungen für die neuen Technologien herausgearbeitet.

#### **1.1.2.3 FLW: Szenarioanalyse Sektionsbau/Bordmontage**

#### **1.1.2.4 FSG: Szenarioanalyse ZI, M**

#### **1.1.2.5 MW: Szenarioanalyse getaktete Unikatfertigung**

#### **1.1.2.6 MDT: Szenarioanalyse Retrofit**

### **1.1.3 Anforderungen an die Informationsversorgung**

In diesem Arbeitspaket wurde ein Pflichtenheft entwickelt, das die erforderlichen Daten, die Datenqualität und -bereitstellung detailliert. Jedes Unternehmen fokussierte sich dabei auf den festgelegten Anwendungsschwerpunkt und erstellte ein firmenspezifisches Pflichtenheft. Um die Vergleichbarkeit sicherzustellen, umfassten alle Pflichtenhefte folgende Punkte:

1. Zielbestimmung
2. Produkteinsatz
3. Produktübersicht
4. Produktfunktion bzw. Projektumsetzung
5. Produktdaten
6. Produktleistung
7. Qualitätsanforderungen
8. Benutzungsoberfläche
9. Nichtfunktionale Anforderungen
10. Technische Produktumgebung
11. Ergänzungen

#### **1.1.3.1 Pflichtenheftsystematik für erforderliche Daten, Datenqualität und -bereitstellung**

Die TUHH entwickelte in diesem Arbeitspaket eine Vorlage für die Pflichtenhefte, die die beteiligten Partner zur Erarbeitung konkreter Anforderungen nutzten. Diese Pflichtenhefte wurden in mehreren Versionen erstellt: Zielbestimmungen an die Hardware, die Software und die Daten, Datenqualität und -bereitstellung.

Die Anforderungen der Pflichtenhefte sind in Muss-, Soll- und Kann-Kriterien unterteilt. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, Abgrenzungskriterien zu definieren, die bewusst nicht erreicht werden sollten. In die Pflichtenhefte wurden Abschnitte aufgenommen, in denen sowohl die erforderlichen Daten definiert werden, aber auch die Datenqualität und wie diese bereitgestellt werden. Anwendungsbeispiele verdeutlichten die erforderliche Datenqualität. Besonders hervorzuheben ist die Anforderungen, dass auf bisherige Daten zurückgegriffen werden sollte und die Unternehmen keine zusätzlichen Daten generieren müssen.

#### **1.1.3.2 FLW: Pflichtenheft-Informationsversorgung Sektionsbau/Bord-montage**

#### **1.1.3.3 FSG: Pflichtenheft-Informationsversorgung ZI, M**

#### **1.1.3.4 MW: Pflichtenheft-Informationsversorgung getaktete Unikatfertigung**

#### **1.1.3.5 MDT: Pflichtenheft-Informationsversorgung Retrofit**

#### **1.1.4 Anforderungen an die Hardware/Software**

Es wurden die Anforderungen bestimmt, die an Hard- und Software gestellt werden und die die neuen Lösungen beibehalten oder verbessern müssen. Insbesondere für die technologischen Eignungsuntersuchungen wurden diese Pflichtenhefte herangezogen.

##### **1.1.4.1 Pflichtenheftsystematik für Hardware/Software (HW/SW)**

Es wurde eine Vorlage für die Pflichtenhefte entwickelt, um eine einheitliche Systematik zu erhalten. Die Gliederung des Pflichtenheftes erfolgte in Abschnitten, die in die jeweilige Variante für Hard- und Software direkt übernommen wurden. Dadurch konnten die Anforderungen der verschiedenen Bereiche miteinander verglichen werden.

Die Pflichtenhefte für Hard- und Software bauen sich wie folgt auf:

Zu Beginn des Pflichtenheftes ist die Zielbestimmung festzuhalten. Anschließend werden unter dem Punkt Produkteinsatz Anwendungsbereiche, Zielgruppen und Betriebsbedingungen aufgelistet. Dieser Abschnitt spezifiziert die Anforderungen an Hardware und Software weiter. In der Produktübersicht wird mit Hilfe einer vorgegebenen Systematik die neue Lösung beschrieben. Aufbauend darauf sind in dem folgenden Abschnitt sämtliche gewünschten Produktfunktionen zu definieren. Nach den Funktionen werden die Produktdaten und -leistungen in weiteren Abschnitten definiert sowie die Anforderungen an die Qualität aufgestellt. Im Abschnitt Benutzungsoberfläche sind Zugriffsrechte für die unterschiedlichen Zielgruppen zu definieren. Weiterhin sind grundlegende Anforderungen für bspw. die Nutzerführung zu spezifizieren. In den nichtfunktionalen Anforderungen sind einzuhaltende Gesetze und Normen sowie Sicherheitsanforderungen spezifiziert, die aus den vorher beschriebenen Anwendungsbereichen und Betriebsbedingungen resultieren. Der Abschnitt Technische Produktumgebung ist in Software, Hardware und Produktschnittstellen gegliedert. Dadurch werden Anforderungen bezüglich zu verarbeitender und auszugebender Datenformate, In- und Output-Schnittstellen weiter detailliert. In den Ergänzungen sind der bisherige Prozess sowie der Arbeitsaufwand zu beschreiben. Diese Datenbasis ermöglicht einen fortwährenden As-Is/To-Be Vergleich und Produktivitätssteigerungen können in jedem Entwicklungsschritt abgeschätzt bzw. bewertet werden.

##### **1.1.4.2 FLW: Pflichtenheft-HW/SW-Überprüfung Sektionsbau/Bordmontage**

##### **1.1.4.3 FSG: Pflichtenheft-HW/SW ZI, M**

##### **1.1.4.4 MW: Pflichtenheft-HW/SW getaktete Unikatfertigung**

##### **1.1.4.5 MDT: Pflichtenheft-HW/SW Retrofit**



## 1.2 Maritimes Produktionssystem

Mit dem produktivitätsorientierten maritimen Produktionssystem entstand ein Rahmenkonzept, das zum einen die im Vorhaben entwickelten Methoden und technischen Hilfsmittel Handlungsfeldern zur Produktivitätssteigerung zuordnet. Zum anderen bietet es die Möglichkeit, von deutschen Schiffbauunternehmen bereits identifizierte Handlungs- bzw. Gestaltungsfelder und die verwendeten Methoden und Hilfsmittel in die Struktur einzugliedern.

### 1.2.1 Allgemeiner Arbeitszyklus Schiffbau

Ein wichtiges Ergebnis des Forschungsvorhabens PROSPER ist der – aus den mit den Werften definierten Szenarien abgeleitete – allgemeine Arbeitszyklus Schiffbau. Dieser ermöglicht es, die Abläufe systematisch zu erfassen und die Handlungsfelder für die Produktivitätssteigerung festzulegen.

Dieses grundlegende Schema hat sich anhand der Szenario-Prozesse bewährt. Aus den beschriebenen Phasen bzw. Tätigkeiten der Mitarbeiter lassen sich Einflussmöglichkeiten für die Verkürzung des Arbeitszyklus bestimmen. Auf diese Weise definierte die FLW die Produktivitätstreiber, an denen die Erfassungs- und Analysemethoden, die technologischen Hilfsmittel sowie der Engineering-Prozess zur Technologievorbereitung ausgerichtet wurden.

#### 1.2.1.1 Prozessanalyse Szenarien und Identifikation von Produktivitätstreibern

Die TUHH hat die Szenarien der Projektpartner, welche in den Pflichtenheften und in der Szenariobeschreibung detailliert erfasst wurden, analysiert. Als Ergebnis entstand ein allgemeiner Arbeitszyklus Schiffbau jeweils für die direkten und indirekten Bereiche (siehe Abbildung 2). Im Bereich der Szenarien für den Retrofit entstand ein separater und auf die Besonderheiten angepasster allgemeiner Prozessablauf. Diese allgemeinen Abläufe wurden durch ausführliche Besichtigungen von Werftbereichen, Befragungen der Werker und Beobachtungen verifiziert.

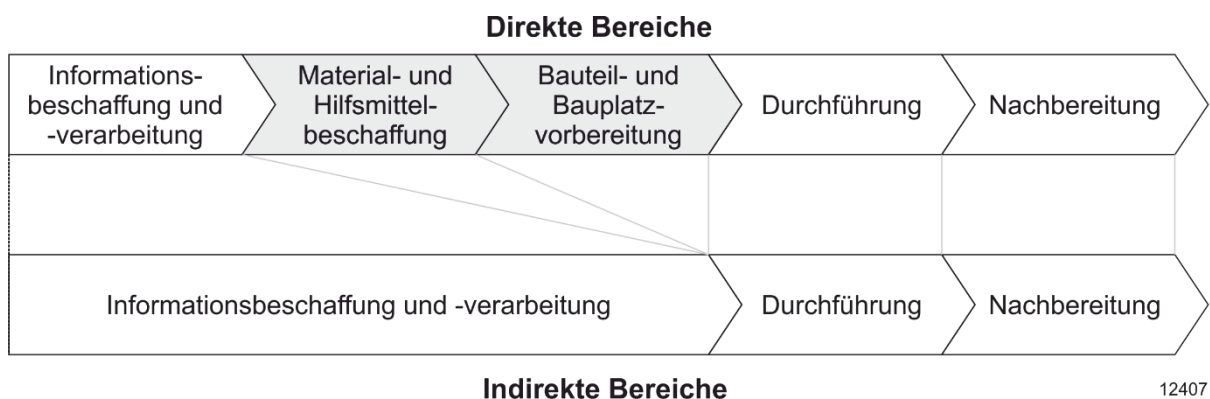


Abbildung 2: Allgemeiner Arbeitszyklus im Schiffbau

In anschließenden Workshops mit den Projektpartnern wurden auf Grundlage des allgemeinen Arbeitszyklus Produktivitätstreiber identifiziert und strukturiert. Diese Produktivitätstreiber sollen einen Produktivitätssprung bewirken. Die bei den Projektpartnern identifizierten Produktivitätstreiber sind in der folgenden Tabelle ausschnittsweise dargestellt.

Art	Produktivitätstreiber	Unterkategorien	Beispiele	Phase
Organisatorisch	Minimierung von Wegezeiten	Material	vorkommissionierte Materialwagen direkt an dem Takt-Arbeitsplatz	Materialbeschaffung
			kurze Wege durch dezentrale Lager für Kleinteile	Materialbeschaffung
		Betriebsmittel	standardisierte Werkzeugschränke, die mit Hilfe eines Kranes über der jeweiligen Sektion hängen	Materialbeschaffung
		Informationen	BDE-Terminal an jedem Takt-Arbeitsplatz	Informationsbeschaffung
zentraler Ort (an der Taktstraße) für Zeichnungen	Informationsbeschaffung			
Organisatorisch	Kürzere Informationsbeschaffung und -verarbeitung	Technologie	Einsatz von Augmented-Reality für die Einblendung von durchführungsrelevanten Informationen	Informationsbeschaffung
			Einsatz von Augmented-Reality für die Einblendung von durchführungsrelevanten Zusatzinformationen	Informationsbeschaffung
			Einsatz von Tablet für die 3D-Darstellung von Zeichnungen	Informationsbeschaffung
			Einsatz von BDE-Terminals vor Ort	Informationsbeschaffung
Organisatorisch/ produktionstechnisch	Hohe Betriebs- und Hilfsmittelverfügbarkeit	Betriebsmittel	Vielzahl von standardisierten Werkzeugschränke	Materialbeschaffung
		Informationen	zentraler Ort für alle Zeichnungen	Informationsbeschaffung
		Informationen	Tablets mit allen benötigten Informationen (z.B. Richtlinien) beim Mitarbeiter	Informationsbeschaffung
		Informationen	BDE-Terminal mit allen nötigen Informationen	Informationsbeschaffung
...	...	...	...	...

Abbildung 3: Auszug aus den identifizierten Produktivitätstreibern

Die Produktivitätstreiber wurden in vollem Umfang den jeweiligen Projektpartnern zugeordnet dokumentiert und stellen die Grundlage für das Methodenwissen zur Produktivitätssteigerung dar.

### **1.2.1.2 FLW: Verifikation für Prozesse Sektionsbau und Bordmontage**

### **1.2.1.3 FLW: Produktivitätstreiber Montage: Sektionsbau und Bordmontage**

### **1.2.1.4 Auswahl von Handlungsfeldern mit Methodenbedarf**

Die Auswahl von Handlungsfeldern erfolgte auf Basis der in Abschnitt 1.2.1.1 beschriebenen Szenarien und Produktivitätstreibern. Die in den Prozessabläufen offengelegten Produktivitätstreiber wurden priorisiert und den zuvor identifizierten Handlungsfeldern zugeordnet. Eine beispielhafte Auswahl der identifizierten Produktivitätstreiber ist in Abbildung 3 (Abschnitt 1.2.1.1) zu finden. In der ersten Spalte erfolgt die Auflistung der Art der Produktivitätstreiber, die zweite Spalte benennt die Produktivitätstreiber selbst, und in der dritten Spalte erfolgt eine genauere Beschreibung in Unterkategorien. In der vierten Spalte werden Beispiele aufgelistet, aus diesen Beispielen leiten sich die Szenarien ab, in denen Produktivitätstreiber auftauchen. Diese Szenarien bilden die Grundlage für die im Rahmen des Forschungsprojekts betrachteten Handlungsfelder.

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere das Handlungsfeld der Informationsbeschaffung und -verarbeitung besonders verbesserungswürdig ist, da hierfür sowohl sehr viel Mitarbeiterzeit verwendet wird, als auch der Zeitanteil an nicht wertschöpfenden Tätigkeiten besonders hoch ist. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, auch vorgelagerte Prozesse mit zu optimieren. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass dieses Handlungsfeld aufgrund der steigenden Komplexität im Schiffbau auch weiterhin an Bedeutung gewinnt.

Für den Retrofit wurde dieses Vorgehen ebenfalls angewendet. Im weiteren Verlauf des Projektes erfolgte jedoch eine Überarbeitung der identifizierten Produktivitätstreiber, da neben dem generischen Arbeitszyklus der entwickelte Retrofit-Prozess herangezogen werden konnte. Mit diesem spezifischen Prozess konnten weitere Produktivitätstreiber identifiziert werden

## **1.2.2 Initialisierung maritimes Produktionssystem**

Die TUHH hat mit dem maritimen Produktionssystem ein Fundament geschaffen, in dem sich sowohl die neu entwickelten Methoden als auch bisherige Verbesserungsmaßnahmen einordnen lassen. Ebenfalls dient es als Rahmen, um die Produktivität im deutschen Schiffbau nachhaltig und kontinuierlich zu verbessern.

### **1.2.2.1 Definition, projektspezifische Abdeckung und Erweiterung**

Abbildung 4 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des maritimen Produktionssystems.

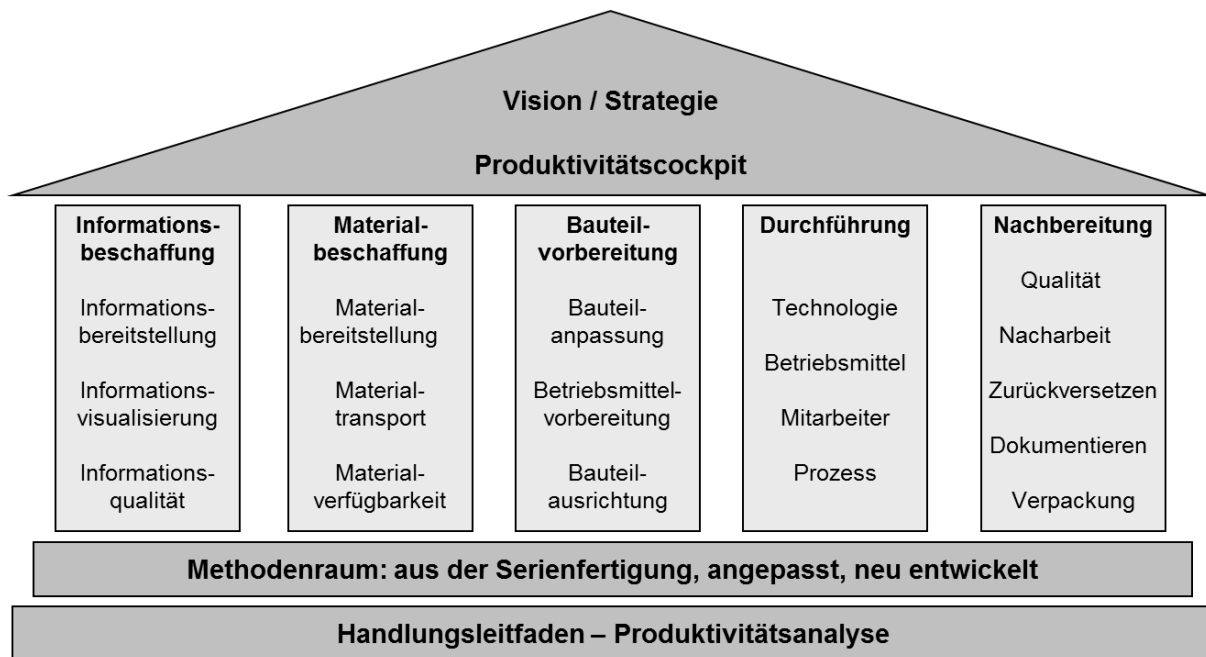


Abbildung 4: Maritimes Produktionssystem

Diese Struktur bricht die Ziele und Strategien in Form des Produktivitätscockpits in Kennzahlen herunter und ordnet diesen Handlungsfelder zu. Die Handlungsfelder sind wiederum mit Verbesserungsmethoden und der entwickelten Produktivitätsanalyse verbunden. Im Forschungsprojekt PROSPER wird vor allem das erste Handlungsfeld abgedeckt, indem die entwickelten Methoden und eingesetzten neuen Technologien vor allem die Informationsbereitstellung und -verarbeitung verbessern.

Die weiteren Handlungsfelder ergeben sich aus dem generischen Arbeitszyklus Schiffbau und bieten für weitere Forschungsprojekte ebenfalls ein Produktivitätspotenzial. In Zusammenarbeit mit MDT wurde aufbauend auf dem Retrofit-Prozess ein angepasstes Produktionssystem entwickelt.

### 1.2.2.2 Projektspezifische Methodenergänzung

Das maritime Produktionssystem wurde um die projektspezifischen Methoden ergänzt. Dazu wurde jedes Konzept nach folgendem Standard beschrieben: Ziel, Kurzbeschreibung und Methoden/Hilfsmittel. Diese Beschreibung findet sich in den Szenariobeschreibungen (Arbeitspaket 1.1.1.4 und folgende) und den Pflichtenheften (Arbeitspaket 1.1.3.2 und folgende) wieder. Damit wurde ebenfalls sichergestellt, dass bei der Verwendung der Beschreibungsblöcke aus dem standardisierten Pflichtenheft neue Methoden dem maritimen Produktionssystem hinzugefügt werden können.

Das Forschungsvorhaben liefert folgende Technologien, die berücksichtigt werden: Zeichnungsfreie Informationsversorgung, Markierungssystematik, Laserscanning zur Ist-Datenerfassung und Augmented/Virtual Reality zur Montageunterstützung. Detaillierte An-

wendungsfälle wurden im Methodenkatalog hinterlegt, um die Möglichkeiten dieser neuen Technologien zu konkretisieren.

### **1.2.3 Verifikation und Bewertung**

Entsprechend der frühen Initialisierung wurde am Ende der Projektlaufzeit die Struktur des maritimen Produktionssystems und die Verknüpfung der Methoden und technischen Hilfsmittel mit Handlungsfeldern verifiziert. Die TUHH definierte darüber hinaus die Transferchancen des Produktionssystems auf andere Unternehmen der Branche, abhängig von zu definierenden Faktoren wie Produktionstyp, Zulieferer/Werft oder Automatisierungsgrad. Sie bewertete zudem die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für den Einsatz des Produktionssystems anhand der Evaluierungsergebnisse und der erzielten Produktivitätseffekte.

In den folgenden drei Arbeitspaketen erfolgt die Sicherstellung eines universellen und adaptierbaren Ansatzes, die Abschätzung des Umsetzungserfolgs auf Basis von Unternehmensspezifika und die Erfolgsabschätzung für die Unternehmen (die Branche) durch den Einsatz des Produktionssystems.

#### **1.2.3.1 Verifikation Methodenbedarf, Komponenten und Aufbau**

Am Ende der Evaluierung der einzelnen Methoden und technischen Hilfsmittel prüfte die TUHH, ob die ursprünglich geplanten Elemente des Produktionssystems entwickelt wurden, die definierten Anforderungen erfüllt wurden und ob die Methodenzuordnung funktioniert. Auch überprüfte sie die weiteren Komponenten, wie Ziele und Handlungsfelder, sowie den Aufbau bzw. die Struktur des Produktionssystems.

In allen Analysen hat sich gezeigt, dass das Handlungsfeld der Informationsbeschaffung und -verarbeitung ein hohes Produktivitätspotenzial aufweist. Alle eingesetzten Methoden und die verwendeten Technologien führten zu einer deutlichen Produktivitätssteigerung. Ebenfalls konnten den Ergebnissen der entwickelten Produktivitätsanalyse mit den Handlungsfeldern und damit über das Methodenmatching auch eindeutig Verbesserungsmethoden zugeordnet werden. Die Komponente des Produktivitätscockpits ermöglicht es den Unternehmen, auch ihre bisher verwendeten Kennzahlen beizubehalten und diese in dem neu geschaffenen Rahmen den aufgenommen Produktivitätskennzahlen zuzuordnen. Dabei erhalten die Unternehmen Hinweise, welche weiteren Kennzahlen sinnvoll zu erfassen wären.

Das Ziel ist von jedem Unternehmen zu definieren. Dabei hat es sich für die Unternehmen als hilfreich herausgestellt, die definierten Produktivitätstreiber zu berücksichtigen. Die gesetzten Ziele ließen sich bei allen Partnern mit dem Produktivitätscockpit verbinden. Damit ist der Grundstein für ein umfassendes maritimes Produktionssystem gelegt.

#### **1.2.3.2 Definition bedingter Transferchancen**

Die TUHH prüfte für die einzelnen Methoden und Hilfsmittel die Transferchancen zum einen auf andere Unternehmen und zum anderen auf weitere Anwendungsfälle. Dazu wurden die

Erfahrungen mit der Umsetzung der Pflichtenhefte dokumentiert. Die Pflichtenhefte und die Dokumentationen waren die Grundlage, um die verschiedenen Szenarien in anderen Anwendungsfällen oder bei anderen Partnern umzusetzen.

So wurde die Digitale Arbeitsunterlage bei der FLW eingesetzt. Dazu wurde ein Bereich der Bordausrüstung gewählt und dessen Geometrieinformationen in den Prototyp der Digitalen Arbeitsunterlage implementiert und verschiedenen Zielgruppen vorgestellt. Dieser Einsatz bestätigte, dass diese Technologie ebenfalls sowohl in anderen Anwendungsfällen als auch bei weiteren Partnern sinnvoll ist. Darüber hinaus konnte die Dokumentation zur Einführung weiter verbessert werden.

Ebenfalls wurden die Technologien und Hilfsmittel, die zusammen mit den anderen Partnern entwickelt wurden, sowohl bei weiteren Projekten als auch für andere Anwendungszwecke getestet. Z. B. konnten die erfassten Ist-Geometrien für eine Angebotsvisualisierung benutzt werden oder das Produktivitätscockpit bei jedem Partner prototypisch getestet werden.

Weitere Methoden- und Hilfsmittelanwender können mit der verbesserten Dokumentation Voraussetzungen und kritische Punkte der Systemeinführung in Kurzform erkennen.

### **1.2.3.3 Bewertung der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten**

Die Vielzahl der Produktivitätsanalysen ermöglichte der TUHH, die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten sowohl der einzelnen Technologien und Hilfsmittel, als auch des gesamten maritimen Produktionssystems zu bewerten. In mehreren Schritten erfolgte dazu eine Abschätzung zumeist in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern. Zuerst wurden die Arbeitsprozesse vor und nach der Einführung der neuen Technologien oder Hilfsmittel analysiert und die Verbesserung in Form der Produktivitätssteigerung erfasst. Demgegenüber wurde der Einführungs- und Betriebsaufwand betrachtet. Zum Schluss wurde das gesamte Potenzial durch Bereichsanalysen bewertet. Zusätzlich wurden auch weitere Faktoren wie z. B. die Mitarbeiterakzeptanz betrachtet.

Es hat sich gezeigt, dass durch die entwickelten Technologien eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität um mindestens 10% möglich ist. Dabei setzen die bisher untersuchten Methoden nur in der Informationsbeschaffung und -verarbeitung an. Die weiteren Handlungsfelder des maritimen Produktionssystems, insbesondere die Materialbeschaffung und Bauplatzvorbereitung beinhalten ein weiteres erhebliches Potenzial, welches mit dem Konzept des maritimen Produktionssystems gehoben werden kann.

## 1.3 Methoden des Produktivitätsmanagements

Die Methoden des Produktivitätsmanagements wurden gemeinsam von TUHH und FLW entwickelt. Um die Verfahren jedoch auch für alle anderen Projektpartner nutzbar zu machen und deren Erfahrungen einzubeziehen, gaben diese an den erforderlichen Stellen ihr Wissen und ihre Einschätzungen in die Methodenentwicklung ein.

### 1.3.1 Produktivitätsmessung im Engineering

Die Messung und Bewertung der Produktivität im Engineering beruht (ähnlich wie der Lösungsansatz für die Produktion) auf der Definition von Aufgaben und deren Zuordnung zu Mitarbeitern. Sie erforderte zunächst die Beschreibung der Engineering-Prozesse und der zugehörigen Produktivitätstreiber anhand einer Beschreibungsmethodik. Anschließend entwickelten die TUHH zusammen mit der FLW Aufwandskenngrößen (Inputseite) und definierten den Abarbeitungsgrad (Outputseite) für den Engineering-Prozess. Letzterer ermöglicht eine Rückstandsmessung gegenüber dem Plankonstruktionsstand, um die Termintreue der Planungsergebnisse zu beurteilen. Qualitätsmerkmale und weitere Aufwandskenngrößen aus verschiedenen Szenarien ergänzten FSG, MW und MDT.

#### 1.3.1.1 Beschreibungsmethodik Engineering-Workflow

Zu Beginn wurde der Engineeringprozess in verschiedene Phasen (K0-K2) eingeteilt und es erfolgte eine Aufteilung der einzelnen Abteilungen im Engineering nach ihren Aufgaben. Dabei war zu beachten, dass die definierten Phasen in den einzelnen Abteilungen gegebenenfalls nicht gleichzeitig beginnen und unterschiedlich lang dauern können. Zudem können auch Abhängigkeiten zwischen den Abteilungen existieren.

Die drei Phasen beginnen mit Phase K0 (Produktdefinition): Hier entsteht der Erstkontakt zum Kunden. Es wird ein erster Generalplan erstellt und Grobplanung und Dokumentation der Schiffsspezifikationen erfolgt. Darauf folgt die Phase K1 (Konstruktion, auch Grobkonstruktion): In dieser wird das gesamte Schiff konstruiert und in Blöcke aufgeteilt. Weiter werden auch die verschiedenen Teilsysteme (Rohre, Elektrik, Antrieb) systemweise konstruiert. Am Schluss steht die Phase K2 (Integration, auch Detailkonstruktion): In dieser erfolgt die Abstimmung der einzelnen Abteilungen (Systeme). Die Detailkonstruktion findet statt und Zeichnungen werden erstellt. In der folgenden Abbildung sind die drei Phasen und die dort stattfindenden Arbeitsschritte dargestellt.

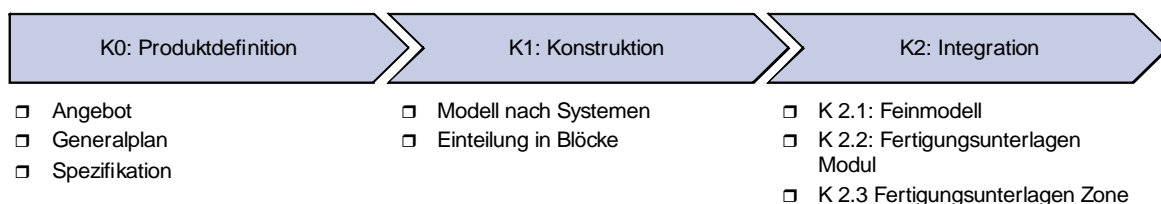


Abbildung 5: Phasen im Engineeringprozess

Dieser übergeordnete Rahmen wurde anschließend mit dem generischen Arbeitszyklus für indirekte Bereiche (siehe Abbildung 5) weiter detailliert. Dazu wurden sowohl Tätigkeiten als auch Objekte den verschiedenen Phasen zugeordnet. Zusätzlich wurde die Möglichkeit geschaffen, mit Hilfe von Bedingungsgrößen weitere Arbeitsaufgaben aufzunehmen. Dabei werden unterschiedliche Arbeitsaufgaben generell mit einheitlichen Tätigkeiten und Objekten erfüllt.

***1.3.1.2 FLW: Prozessdefinition Engineering Unikatproduktion FLW; Anforderungen Produktivitätsmessung Engineering***

***1.3.1.3 FSG: Prozessdefinition Engineering Unikatfertigung FSG***

***1.3.1.4 FSG: Produktivitätstreiber im Planungsprozess; Restriktionen FSG***

***1.3.1.5 FLW: Produktivitätstreiber im Planungsprozess; Restriktionen FLW***

***1.3.1.6 MW: Ergänzungen Produktivitätstreiber und Restriktionen bei getakteter Unikatfertigung***

***1.3.1.7 MDT: Ergänzungen Produktivitätstreiber und Restriktionen für Szenario Retrofit***

***1.3.1.8 FLW: Abarbeitungsgrad und Aufwandskenngrößen im Engineering-Prozess***

***1.3.1.9 FSG: Qualitätsmerkmale und Aufwandskenngrößen im Engineering-Prozess***

***1.3.1.10 MW: Aufwandskenngrößen (Engineering) in der Sektionsausrüstung***

***1.3.1.11 MDT: Aufwandskenngrößen (Engineering) im Retrofit-Szenario***

***1.3.1.12 Beurteilung und Festlegung Kenngrößen, Qualitätsmerkmale***

Ausgehend von den erarbeiteten Produktivitätstreibern und der Auswahl von Messgrößen der Projektpartner beurteilte die TUHH in enger Zusammenarbeit mit der FLW die Ergebnisse und legte geeignete Messgrößen fest. In einem Workshop mit der FLW wurde ein Set von Kenngrößen ausgewählt. Diese decken die Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität ab und gliedern sich in produktivitätsorientierte Kennzahlen und PPS-orientierte Kennzahlen sowie Qualitätskennzahlen.



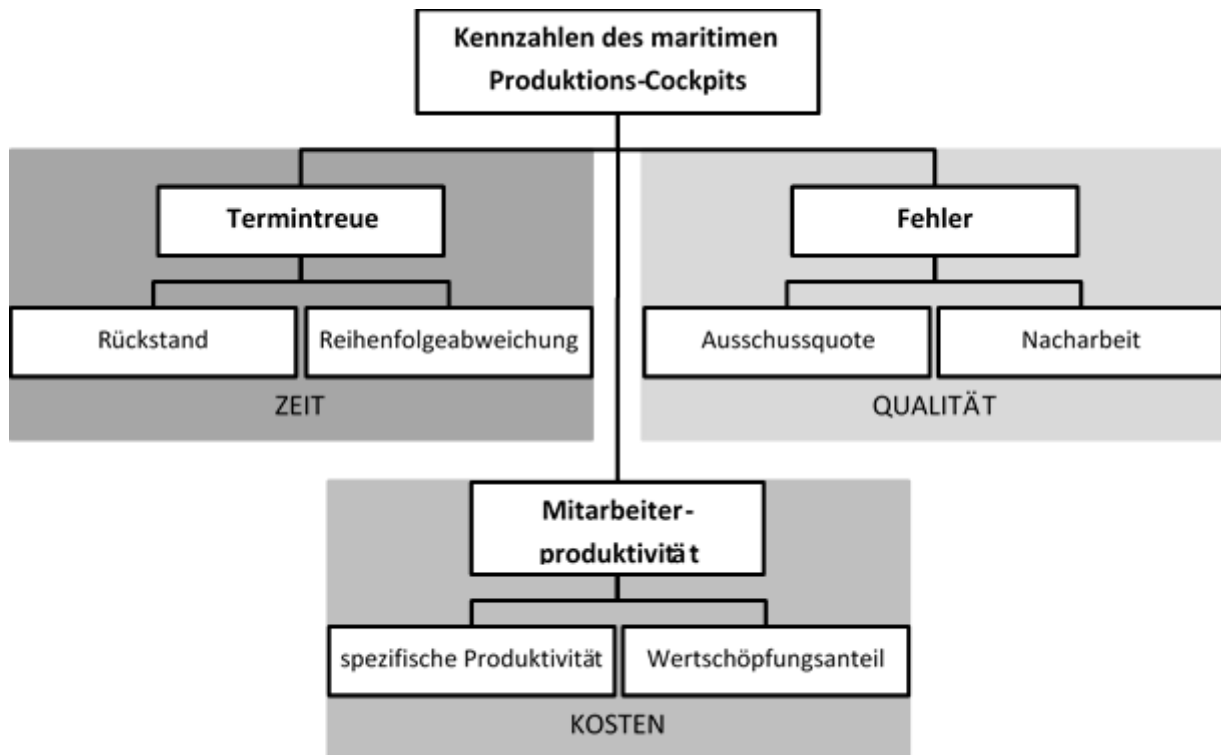


Abbildung 6: Übersicht der Kenngrößen für die maritime Industrie

In der Abbildung 6 sind die Kenngrößen dargestellt, die im Weiteren kurz erläutert werden sollen.

- Die Termintreue bewertet die Pünktlichkeit der Arbeitsaufträge, also den Anteil der zum Endtermin tatsächlich fertiggestellten Aufträge. Die Kundenzufriedenheit sowie die Sicherstellung eines standardisierten Arbeitsprozesses hängen maßgeblich mit der Termintreue zusammen. Die Termintreue wird mit zwei Varianten umgesetzt. Zum einen die Termintreue abgeschlossener Arbeitspakete und zum anderen die Termintreue offener Arbeitspakete.
- Der Rückstand in der maritimen Produktion ist definiert durch die Differenz aus den Plan-Vorgabestunden und den produzierten Vorgabestunden. Er gibt Auskunft darüber, wie viele Stunden aufgearbeitet werden müssten, um im Produktionsplan zu sein. Dementsprechend können kapazitätsanpassende Maßnahmen ergriffen werden. Sowohl ein zeitliches Durchlaufdiagramm als auch die Darstellung der Erfüllungsgrade in Form von Balkendiagrammen unterstützen die Analyse des Rückstands.
- Das Status-Diagramm und die Verzögerungsursache dienen einer vertiefenden Analyse der Reihenfolgeabweichung und helfen bei der Ableitung von Gegenmaßnahmen. Das Status-Diagramm informiert über eine gehäufte Reihenfolgeabweichung. Wenn die Arbeitspakete auf der X-Achse weit gestreut sind, wurden einige Arbeitspakete verfrüht begonnen, während andere sich verspäten. Das Status-Diagramm hilft die

Arbeitspakete zu identifizieren, bei denen ein lenkender Eingriff am stärksten benötigt wird: große Arbeitspakete mit viel Rückstand. Je größer ein Arbeitspaket gemessen in Vorgabestunden ist, umso schwieriger wird es bspw. durch Kapazitätssteuerung den Plan einzuhalten. Deshalb ist bei größeren Arbeitspaketen eine kleinere Abweichung im Erfüllungsgrad akzeptabel.

- Die Mitarbeiterproduktivität entspricht im Kontext des maritimen Produktionscockpits der Kosteneffizienz, da die Mitarbeiterkosten vereinfachend als Gesamtkosten betrachtet werden. Sie vergleicht den Wert der geleisteten Arbeit mit den Ist-Kosten. Sie beantwortet die Frage, ob die geleistete Arbeit der bezahlten Arbeit entspricht. Die beschriebene Mitarbeiterproduktivität ist relativ allgemein gehalten und eignet sich als Übersicht über die Produktivität, zum Lenken oder festlegen von Zielen.
- Die spezifische Produktivität spezifiziert die Mitarbeiterproduktivität und eignet sich stärker zum Lenken der Mitarbeiter. Die produzierten Vorgabestunden im Zähler werden durch abteilungsspezifischen Output dividiert. Stahlgewicht, Deadweight, Gross Tonnage, Compensated Gross Tonnage können bei der spezifischen Produktivität genutzt werden. Die spezifischen Kennzahlen werden jedoch werft-spezifisch festgelegt.
- Die dritte Variante der Produktivität des Cockpits ist der Wertschöpfungsanteil. Er berücksichtigt die wertschöpfenden Anteile im Verhältnis zu den bezahlten Arbeitsstunden. Die wertschöpfenden Arbeitsstunden sind hierbei jene, die dem Bereich „Durchführen“ zuzuordnen sind.
- Der Ausschuss kann entweder absolut in einer Währungseinheit oder als Summe der Teile, aber auch relativ als Ausschussquote bewertet werden. Da der absolute Wert schwer zu bewerten ist, bietet die relative Variante eine einfachere Einschätzung des Ergebnisses. Deshalb wurde beschlossen, den Ausschuss relativ als Ausschussquote bezogen auf die Teilezahl zu erfassen.
- Auch die Nacharbeit lässt sich sowohl absolut als Nacharbeitsstunden als auch relativ als Nacharbeitsquote angeben. Die Nacharbeitsquote setzt die Nacharbeitsstunden in Relation zu den insgesamt produzierten Vorgabestunden. Die insgesamt produzierten Stunden, sind jedoch sowohl den zeitlichen als auch den kostenorientierten Kennzahlen einfach zu entnehmen, sodass der Nutzen des absoluten bedeutender ist.

Zusätzlich ergaben sich weitere mögliche Kenngrößen und Darstellungsformen, die für eine Beurteilung eines Projektes geeignet sind. Zu nennen sind hier vor allem die S-Kurvenverläufe von unterschiedlichen Output-Größen wie z. B. den verbuchten Stunden.

### **1.3.1.13 Entwicklung Schema zur Produktivitätsbewertung**

Die TUHH hat die verschiedenen Kenngrößen verwendet und sinnvoll miteinander verknüpft, um ein einheitliches Schema zur Produktivitätsbewertung zu erhalten. Ähnlich wie in den direkten Bereichen hat sich auch im Engineeringbereich der Mitarbeiterzustandsanteil als aussagekräftigste Möglichkeit erwiesen, die Produktivität von Gesamtprozess oder Teilprozessen zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Dabei wird als Input die Anzahl der bezahlten bzw. gebuchten Stunden betrachtet und als Output das Arbeitsergebnis in Form der produzierten Vorgabestunden. Eine Verteilung auf die Arbeitsaufgaben, welche sich aus der Analyse der indirekten Bereiche ergibt, ermöglicht anschließend eine Produktivitätsbewertung. Ebenfalls können mögliche Auswirkungen auf die direkten Bereiche analysiert werden.

Letztlich besteht ein weiteres Schema in der Betrachtung der Abarbeitungsgrade und der Termintreue, um besonders verbesserungsrelevante Arbeitsprozesse zu identifizieren.

### **1.3.1.14 FLW: Nutzbarkeit vorhandener Daten (Engineering) zur Produktivitätsbewertung, Workflow FLW**

### **1.3.1.15 FSG: Nutzbarkeit vorhandener Daten (Engineering) zur Produktivitätsbewertung, Workflow FSG**

### **1.3.1.16 MW: Nutzbarkeit vorhandener Daten (Engineering getaktete Unikatfertigung) zur Produktivitätsbewertung**

### **1.3.1.17 MDT: Nutzbarkeit vorhandener Daten (Engineering Retrofit) zur Produktivitätsbewertung**

### **1.3.1.18 Methode zur Erfassung von Kenngrößen; Software-Prototyp**

Die TUHH entwickelte Erfassungsmethoden, indem sie die Ideen der Projektpartner bündelte und ein strukturiertes Vorgehen beschreibt. Bei der Datenerfassung sind direkte Methoden vor allen anderen zu bevorzugen, da diese mit relativ geringem Aufwand verlässliche Daten liefern. Die Zweitwahl sollten indirektes Messen und die detaillierte Datenanalyse sein, wenn der relativ hohe (Initial-)Aufwand mit dem verlässlichen Informationsgewinn zu begründen ist. Das Schätzen ist relativ ungenau und abhängig vom Schätzenden. Außerdem ist es für die vielseitige, komplexe und arbeitsintensive maritime Produktion relativ aufwendig.

Das direkte Messen aus dem Informationssystem in Form der Betriebs- und Maschinendatenerfassung liefert die folgenden Daten als Basis für die ausgewählten Kennzahlen:

- Plan-Start- und -Endtermine der Arbeitsgänge und Arbeitspakete
- Anzahl der Arbeitsgänge und Arbeitspakete

- Plan-Vorgabestunden der Arbeitsgänge und Arbeitspakete als Summe und in Abhängigkeit von der Zeit
- bezahlte Arbeitsstunden
- Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsfaktor bzw. OEE der wichtigsten Maschinen

Die bisherige Datenerfassung benutzt keine indirekten Methoden. Diese sind jedoch durchaus dem Schätzen vorzuziehen, da die Ergebnisse verlässlicher sind. Zwei mögliche Ansätze für indirekte Datenerfassungsmethoden, die im Forschungsprojekt diskutiert wurden, sind die halbautomatisierte Betriebsdatenerfassung über Maschinensignale und RFID-Chips an Komponenten.

Daten sollen nur geschätzt werden, wenn die automatisierte Aufnahme nicht möglich oder zu kostenintensiv ist. Insbesondere weil die manuelle Erfassung sehr arbeitsintensiv und fehleranfällig ist, da die Daten noch einmal ins Elektronische übertragen werden müssen, werden für das maritime Produktions-Cockpit Tablets bzw. zumindest Standcomputer benötigt. Die manuelle Erfassung liefert folgende Daten:

- Ist-Endtermine der Arbeitsgänge und Arbeitspakete
- Produzierte Vorgabestunden
- Erfassung der Verzögerungsursache
- Erfassung der Mehraufwandsursache

Die bisherigen Datenerfassungsmethoden richten sich lediglich nach den wertschöpfenden Zeitanteilen, während Informationen zu der verbleibenden Zeit fehlen. Um detaillierte Zustandsdaten nutzen zu können, ist eine rotierende Multimomentaufnahme in Abständen von einigen Monaten für das maritime Produktions-Cockpit vorgesehen. Die Multimomentaufnahme liefert folgende Daten:

- Zustandsbasierte Zeitanteile
- Wertschöpfungsanteil

Diese gesamte Datenerfassung wurde mit Softwareprototypen umgesetzt. Dieser bestand zum einem aus einer Datenbank, in der die erfassten Informationen strukturiert gespeichert werden können und zum anderen aus Applikationen für die Erfassung von Daten mit mobilen Endgeräten. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Datenbankstruktur sich leicht mit den gängigen ERP-Systemen in der maritimen Industrie integrieren lässt, um den Schnittstellenaufwand möglichst gering zu halten. Die Datenbank ist sowohl die Grundlage für das Produktivitätscockpit als auch für die Produktivitätsanalysen in den direkten und indirekten Bereichen. Mit den mobilen Endgeräten werden vor allem Mitarbeiterzustände erfasst.

### **1.3.1.19 Auswertung und Optimierung des Messverfahrens (Engineering); Ableitung Idealprozess**

Zusammen mit der FLW wurde das Messverfahren (Engineering) evaluiert. Dazu wurde die Produktivität in Abteilungen des Engineering erfasst. Zusätzlich wurden mehrere abgeschlossene Projekte mit den gewählten Kenngrößen analysiert und ebenfalls ein aktuelles Projekt erfasst.

Die Produktivitätsmessung erfolgte in den ersten Versuchen mit Hilfe einer Selbstaufschreibung und einer Excel-Datei mit automatisierter Abfragefunktion. Mit den Erfahrungen der ersten Analysen zeigte sich, dass es maximal 100 Mitarbeiterzustände geben sollte, da ansonsten die Transparenz nicht gewährleistet ist. Ebenfalls hat sich die Lösung mit Excel-Listen als möglich, aber immer noch sehr fehleranfällig und aufwändig herausgestellt. Zum Ende des Projektes konnte eine webbasierte Aufnahmesoftware verwendet werden, die sowohl die Fehlermöglichkeiten als auch den Aufwand erheblich reduzierte. Ebenfalls hat sich herausgestellt, dass Erfassungen mit Zeitaufnahmen aufgrund der hohen Anzahl an Unterbrechungen der Arbeitsprozesse kaum sinnvoll einzusetzen sind. Eine Modellierung der Prozesse oder Teilprozesse mit den Mitarbeiterzuständen hat sich jedoch als sehr hilfreich sowohl für die Potenzialidentifikation als auch für die Potenzialabschätzung erwiesen.

Die Projektpartner waren besonders an der Auswertung der zeitlichen Kenngrößen interessiert. In einem iterativen Verfahren konnten immer mehr Daten dem Softwareprototyp hinzugefügt werden. Letztlich konnten Abarbeitungsgrade berechnet werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass häufig die Datenqualität noch nicht ausreichend ist, um ein gesamtes Projekt abzubilden. So mangelt es im Moment in der schiffbaulichen Unikatproduktion an Informationen über die bereits erfüllten Vorgabestunden.

Alle Visualisierungen der Erfassung und Analysen wurden stetig optimiert. Besonders hervorzuheben sind das Status- und Controlling-Diagramm. Mit deren Hilfe können sowohl Rückstände in Arbeitspaketen als auch Mehraufwände schnell und einfach erkannt werden.

### **1.3.2 Produktivitätsanalyse in der Produktion**

Ein wesentlicher Teil der Produktivitätsanalyse in der Produktion ist die Aufnahme der Mitarbeiterzustände. Diese werden vor Ort mit Hilfe einer am IPMT entwickelten Applikation für Tablets durchgeführt. Die Applikation und ihre Methodik wird in Arbeitspaket 1.3.2.5 beschrieben. Die aufgenommenen Daten werden im weiteren Verlauf der Analyse ausgewertet und interpretiert.

#### **1.3.2.1 Anforderungen Produktivitätsanalyse Produktion (Schwerpunkt Montage)**

Ziel der Produktivitätsanalyse ist es, Potenziale im Produktionsablauf aufzudecken. Dafür wurden Anforderungen definiert und Rahmenbedingungen festgelegt. Mit Hilfe der Produktivitätsanalyse soll ein Überblick über die Verteilung der Tätigkeiten gewonnen werden, da-

mit anschließend mögliche Produktivitätstreiber eingeordnet und ihr Verbesserungspotenzial beurteilt werden kann.

Die Ergebnisse der Produktivitätsanalyse sollen eine zielgerichtete Auswahl von Verbesserungsmaßnahmen ermöglichen, denn Prozessoptimierungen lohnen sich in erster Linie in Bereichen, die einen großen Anteil am Gesamtprozess haben und somit eine Verbesserung eine große Auswirkung auf die gesamte Produktion hat.

Die Analyse soll sowohl einzelne Prozesse untersuchen als auch ganze Bereiche betrachten und miteinander vergleichbar machen.

Der Aufnahmeaufwand soll auf wenige Tage begrenzt werden und die Aufnahme der Daten darf den Arbeitsablauf nicht übermäßig behindern, um den Produktionsprozess nicht zu stören und ein unverfälschtes Bild des Ist-Zustandes aufzunehmen. Aus diesem Grund ist ein Selbstaufschrieb der Arbeiter durch die permanente Unterbrechung von Arbeitsabläufen und der Gefahr eines eventuell optimierten Notierens der eigenen Arbeit nur bedingt geeignet. Auch die permanente Beobachtung einzelner Personen ist schwierig, da diese eventuell ihre Arbeitsweise unter Beobachtung ändern (das Ergebnis verfälschen) und weil durch den großen Aufnahmebereich und die große Personenanzahl, die aufgenommen wird, der Umfang der Aufnahme sehr groß wird (Beschränkung auf wenige Tage ist nicht mehr gegeben).

Benötigt wird also eine Methode, die neben den genannten Anforderungen auch den Anspruch erfüllen muss, große Produktionsbereiche mit vielen Arbeitern aufnehmen zu können. Eine mögliche Methode ist die Multimomentaufnahme, die den weiteren Vorteil hat, dass sie keine personenbezogenen Leistungsdaten aufnimmt. Der Schulungsaufwand für den Aufnehmer ist möglichst gering zu halten.

### ***1.3.2.2 FLW: Definition möglicher Mitarbeiterzustände***

#### **1.3.2.3 Aufbau der Zustandshierarchie**

In der maritimen Industrie ist es aufgrund der verschiedenen Fertigungsprinzipien und dem hohen Anteil an Nebentätigkeiten schwierig, die Mitarbeiterzustände mit wenigen Zustandskategorien zu beschreiben. Eine Vielzahl von unterschiedlichsten Ausprägungen wäre notwendig, um die bezahlte Arbeitszeit vollständig abzubilden. Der im Forschungsprojekt entwickelte Ansatz verwendet Tätigkeits- und Objekthierarchien. Mit diesen kann die Vielzahl von Mitarbeiterzuständen strukturiert werden. Die Kombination von einem Objekt mit einer Tätigkeit definiert einen Mitarbeiterzustand vollständig. Dadurch ist es möglich auch unterschiedlichste Arbeitsabläufe mit einer standardisierten Vorlage einfach zu beschreiben.

Die einzelnen Tätigkeiten lassen sich übergeordneten Kategorien zuordnen, die den einzelnen Phasen des generischen Arbeitszyklus entsprechen (siehe Abbildung 7).

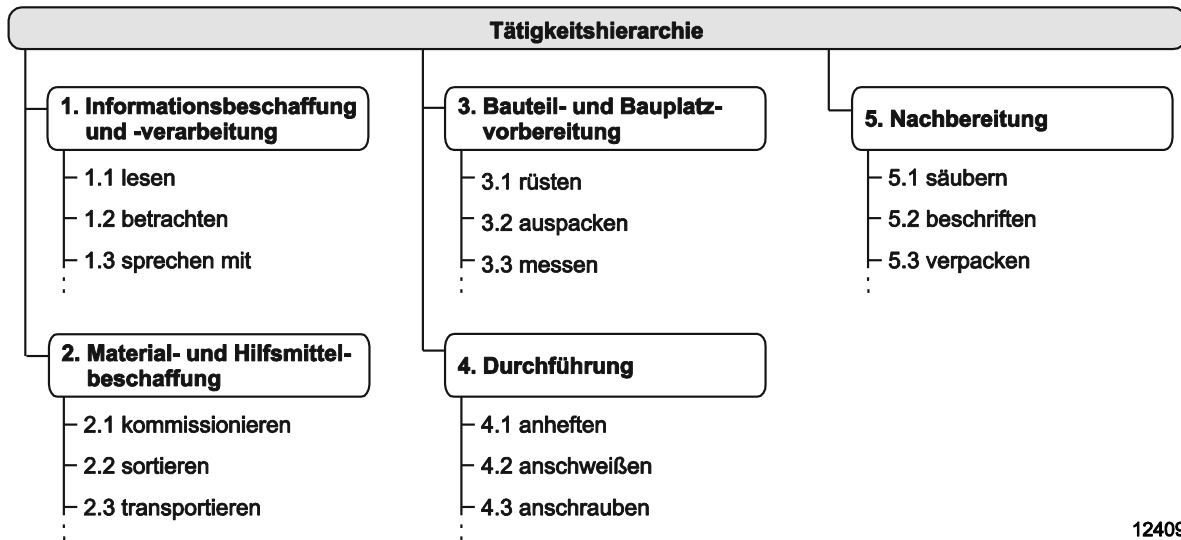


Abbildung 7: Beispiel einer Tätigkeitshierarchie

Die Objekte sind in sechs Kategorien eingeteilt (siehe Abbildung 8).

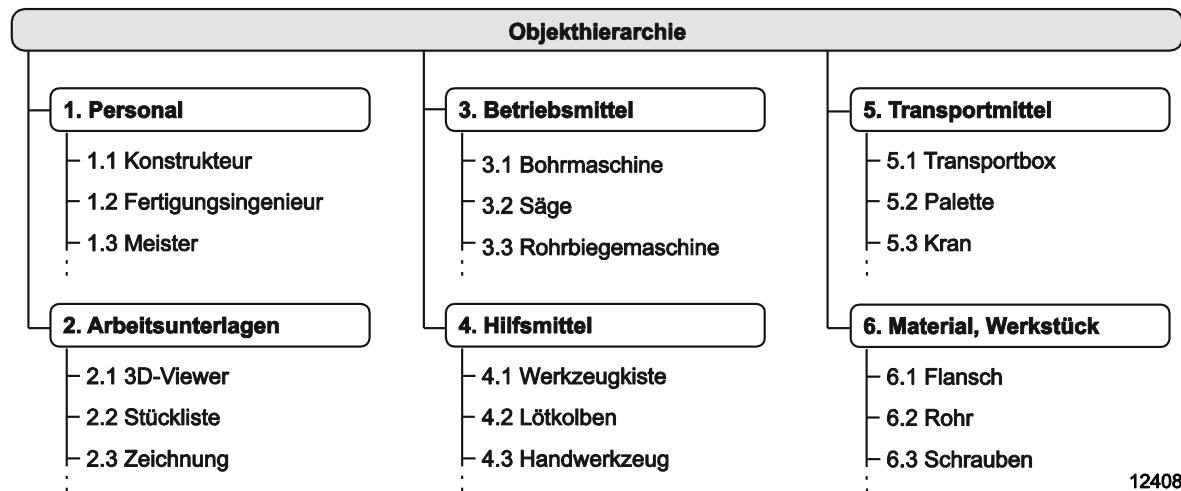


Abbildung 8: Beispiel einer Objekthierarchie

Führt man die Tätigkeitshierarchie und Objekthierarchie zusammen, entsteht eine Tätigkeits-Objekt-Matrix. Sie beinhaltet alle möglichen Mitarbeiterzustände (siehe Abbildung 9). Zur Vereinfachung können die Objekte und Tätigkeiten mit Nummern codiert werden, so dass ein Objektschlüssel und ein Tätigkeitsschlüssel einen Mitarbeiterzustand definieren. Häufig enthält die Tätigkeits-Objekt-Matrix eine hohe Anzahl an möglichen Zuständen. Eine Prüfung der Tätigkeits-Objekt-Kombinationen erfolgt daher mit zwei Zielen:

- Reduzierung der möglichen Tätigkeits-Objekt-Kombinationen: Nicht sinnvolle Kombinationen aus einem Objekt und einer Tätigkeit sind zu streichen. So ist z. B. die Verknüpfung von Objekten der Kategorie Personal mit Tätigkeiten der Kategorie Material- und Hilfsmittelbeschaffung auszuschließen.

- Eindeutigkeit: Ein Mitarbeiterzustand sollte nur durch eine einzige Tätigkeits-Objekt-Kombination beschrieben werden können, um möglichen Fehlern bei der Datenaufnahme vorzubeugen. So wird z. B. die Kombination der Tätigkeit Transport mit der Objektkategorie Transportmittel für ungültig erklärt.

		1				2				3				...
		Informationsbeschaffung und -verarbeitung				Material- und Hilfsmittelbeschaffung				Bauteil- und Bauplatz-vorbereitung				...
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	...
		lesen	betrachten	sprechen mit	...	kommisionieren	sortieren	transportieren	...	rüsten	auspacken	handhaben	...	...
1	Personal	1	Konstrukteur			x								
		2	Fertigungsing.			x								
		3	Meister			x								
		4	...			x								
2	Arbeitsunterlagen	1	3D-Viewer	x						x				
		2	Stückliste	x						x				
		3	Zeichnung	x						x				
		4	...	x						x				
3	Betriebsmittel	1	Bohrmaschine		x				x					
		2	Säge		x				x					
		3	Rohrbiegemaschine		x					x				
		4	...		x					x				
...	...	...	...											

12410

Abbildung 9: Auszug aus der Tätigkeits-Objekt-Matrix

Abbildung 9 stellt die möglichen Kombinationen von Tätigkeiten und Objekten durch Kreuze dar. Die Tätigkeits-Objekt-Matrix bildet die Grundlage für die Datenaufnahme und kann für jeden Bereich unterschiedlich sein. Dabei bleiben die übergeordneten Tätigkeits- und Objektkategorien bestehen, um eine bereichsübergreifende Vergleichbarkeit sicherzustellen.



### 1.3.2.4 FLW: Erfassbarkeit von Mitarbeiterzuständen (Input)

#### 1.3.2.5 Methode zur Erfassung von Zustandsdaten

Die Produktivitätsanalyse hat das Ziel, die gesamte bezahlte Arbeitszeit eines Mitarbeiters abzubilden. Diese besteht aus Bestandteilen der Anwesenheits- und Abwesenheitszeit. Diese unterteilen sich weiter in aufgabenbezogene und allgemeine Mitarbeiterzustände.

Durch die Kombination von verschiedenen Datenerfassungsverfahren ist es der TUHH gelungen, den Erfassungsaufwand zu reduzieren. Zusätzlich wurde ein Vorgehen entwickelt, das es den Projektpartnern ermöglicht, die Produktivitätsanalyse selbstständig durchzuführen, um die Arbeitsproduktivität zielorientiert zu verbessern. Das Vorgehen besteht aus fünf Schritten:

1. Auswahl des Analysebereichs
2. Anpassung der Tätigkeits-Objekt-Matrix
3. Auswahl der Aufnahme- und Erfassungsmethode
4. Datenerfassung
5. Erfassung der Zeiten für An- und Abwesenheit

Dieses Vorgehen ist für jeden Bereich – direkt oder indirekt – und jedes Fertigungsprinzip gleich. Damit stellt die TUHH ein einheitliches Vorgehen sicher.

Aufgrund der in der Regel begrenzten Verbesserungsressourcen ist es sinnvoll, nur bestimmte Bereiche auszuwählen, um somit den Aufwand zu reduzieren. Dazu können folgende Regeln herangezogen werden:

- Je mehr Mitarbeiter in einem räumlichen oder organisatorischen Bereich beschäftigt sind, desto größer ist meistens das Potenzial zur Steigerung der Arbeitsproduktivität.
- Bereiche mit einer geringen Anzahl an Prozessarten, die sich wiederum häufig wiederholen, eignen sich, weil Verbesserungen hier zu repetitiven Produktivitätsgewinnen führen können.
- In der Regel ist es sinnvoll, zusammenhängende Bereiche zu analysieren, z. B. Arbeitsvorbereitung und Fertigung der gleichen Produktgruppe, da das Vorgehen und die Produktivitätspotenziale sowohl für direkte als auch für indirekte Bereiche gelten.

Die entwickelte generische Tätigkeits-Objekt-Matrix kann als Vorlage für die Modellierung der Mitarbeiterzeit herangezogen werden. Dabei ist es möglich, branchen- oder unternehmensspezifische Tätigkeits-Objekt-Matrizen für direkte und indirekte Bereiche zu erstellen. Im Forschungsprojekt wurden solche Vorlagen für Arbeitsvorbereitungen und schiffbauliche Montagebereiche erstellt. Dennoch ist es häufig sinnvoll, diese Vorlagen für die ausgewählten Bereiche anzupassen und zu ergänzen. Fehlende Tätigkeiten und Objekte können mit Interviews und Prozessbeobachtungen identifiziert werden. In dem Forschungsprojekt hat

sich gezeigt, dass meist nur sehr spezielle, bereichstypische Aktivitäten (z. B. besondere Füge- oder Trennverfahren) ergänzt oder die Objekte an die Namensgebung im Unternehmen angepasst werden müssen.

Nach der Modellierung der Mitarbeiterzeit folgt die Auswahl des Kernaufnahmeverfahrens. Als Aufnahmemethoden eignen sich besonders Multimomentaufnahmen. Bei Multimomentaufnahmen notiert der Anwender zu vorher festgelegten Zeitpunkten auf Rundgängen durch den Untersuchungsbereich die Tätigkeiten und Objekte der Mitarbeiter (siehe Abbildung 10). Damit die Gültigkeit der mittels Stichproben getroffenen Aussagen auf die Grundgesamtheit übertragen werden kann, muss die Anwendung der Multimomentaufnahme bestimmte statistische Anforderungen erfüllen. Dabei hat sich eine Aussagewahrscheinlichkeit von 95% und ein Vertrauensbereich von +/- 2,5% als ausreichend erwiesen. Pro Aufnahme müssen dann ca. 1.500 Stichproben erhoben werden. Dann liefert die Multimomentaufnahme Mitarbeiterzustandsanteile bezogen auf den Aufnahme-zeitraum. Mit der Verwendung der Multimomentaufnahme hat die TUHH ein Verfahren ausgewählt, mit dem es den Werften möglich ist, die großen Produktionsbereiche mit relativ geringem Aufwand zu analysieren und dabei die Mitarbeiter nur geringfügig zu stören. Für eine spezifische Untersuchung von konkreten Prozessabläufen eignet sich das Multimomentaufnahmeverfahren jedoch nicht, da kein Rückschluss auf die Reihenfolge der Mitarbeiterzustände erfolgen kann und ablaufbedingte Verbesserungen somit nicht möglich sind.

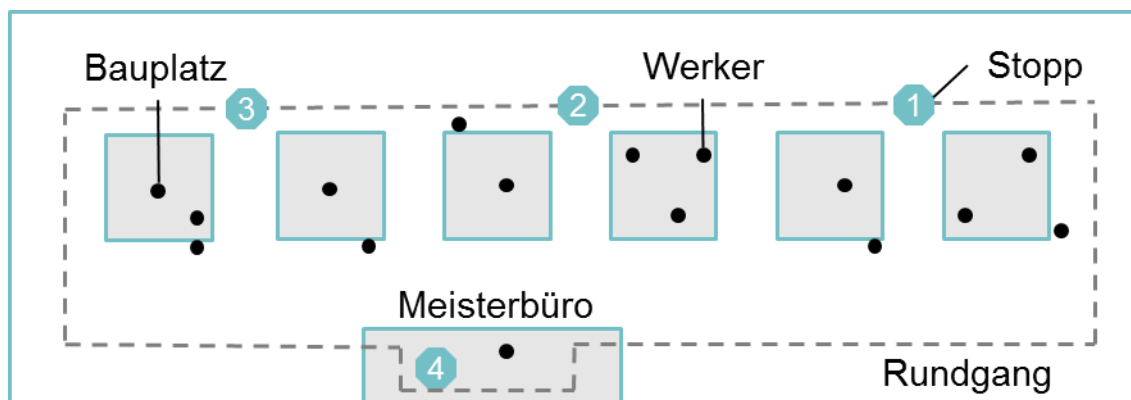


Abbildung 10: Rundgang einer Multimomentaufnahme

Die Datenerfassung sollte durch eine Fremdaufschreibung erfolgen. Dabei nimmt ein Beobachter die Mitarbeiter auf. Hierbei besteht zwar das Risiko, dass der Mitarbeiter sich von der Beobachtung gestört fühlt und anders arbeitet als üblich. Dieses hat sich in den zahlreichen Evaluationen jedoch als nicht relevant herausgestellt. Der externe Beobachter kann jedoch nur leicht erkennbare Tätigkeiten und Objekte aufnehmen.

In dem Forschungsprojekt hat sich gezeigt, dass sich Multimomentaufnahmen – durchgeführt von einem externen Beobachter – für übersichtliche Produktionsbereiche häufig am besten eignen. Diese finden sich z. B. im Stahl- oder Sektionsbau sowie der Sektionsausrüstung. Unübersichtliche Produktionsbereiche wie z. B. die Bordausrüstung erschweren es, die

Mitarbeiter zu finden und die Objekte und Tätigkeiten zu identifizieren. Daher wurden diese Bereiche mit Hilfe von Prozessablaufanalysen aufgenommen.

Nach der Bereichsauswahl und der Erstellung der Tätigkeits-Objekt-Matrizen beginnt die eigentliche Datenerfassung. Die TUHH hat eine generelle Vorlage für die Datenerfassung entwickelt, die es den Projektpartnern ermöglicht, auch ohne den entwickelten Prototypen die Produktivitätsanalysen durchzuführen. Um einen Mitarbeiterzustand aufzunehmen, trägt man den entsprechenden Tätigkeits- und Objektcode in den Aufnahmebogen ein. Abbildung 11 zeigt einen standardisierten Aufnahmebogen.

Nr. / Zeit- punkt	Tätigkeitselement			Objektelement			Bemerkung
	Kat.	Tät.	Bezeichnung	Kat.	Obj.	Bezeichnung	
8:47	1	1	lesen	2	3	Zeichnung	-
9:12	1	3	sprechen mit	1	1	Konstrukteur	Rückfragen bzgl. Zeichnung
...	...	...	...	...	...	...	...

**Abbildung 11: Beispiel für einen Aufnahmebogen**

Anschließend werden die Daten für die An- und Abwesenheit der Mitarbeiter im Untersuchungsbereich aus der Betriebsdatenerfassung herangezogen, um die Zustands-anteile zu bestimmen. Dies war bei jedem Projektpartner möglich, doch häufig mit betriebsrechtlichen Fragestellungen verknüpft.

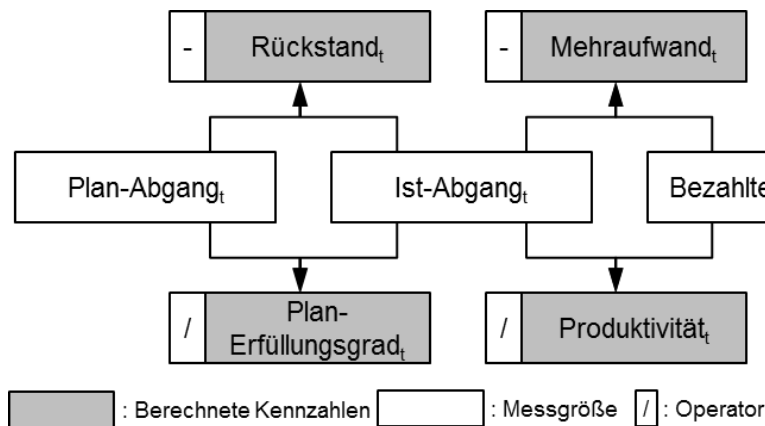
**1.3.2.6 FLW: Methode zur Ermittlung des Abarbeitungsgrades (Output)**

**1.3.2.7 Formalisierung der Outputdefinition (Abarbeitungsgrad)**

Die definierten Mitarbeiterzustände stellen den Input zur Verfügung. Sowohl eine Outputdefinition als auch die Festlegung von Betrachtungsbereichen ist notwendig, um die Produktivitätsbetrachtung zu vervollständigen. Auf der Grundlage der Aggregationslogik lassen sich drei Messgrößen für den Output bestimmen, aus denen weitere Kennzahlen gebildet werden. Die Messgrößen sind der Plan-Abgang, der Ist-Abgang und die bezahlten Stunden zu dem jeweiligen Zeitpunkt. Diese Messgrößen alleine geben keine Auskunft über den Projektstatus, Rückstand, Arbeitsfortschritt und die Produktivität. Um diese Informationen abzubilden, werden weitere Kennzahlen und Fortschrittsgrade gebildet.

Die Fortschrittsgrade bilden sich aus dem Verhältnis der jeweiligen Messgröße und des gesamten Plan-Abgangs. Somit entstehen drei Fortschrittsgrade: der Planfortschritt, der Arbeitsfortschritt und der Kostenfortschritt zu einem bestimmten Zeitpunkt. Für den gesamten Plan-Abgang müssen im Voraus Ebenen definiert werden. Hier ist eine funktionsorientierte Betrachtung sinnvoll, die z. B. den gesamten Plan-Abgang einer Baugruppe, einer Örtlichkeit oder des Auftrags berücksichtigt. Die wichtigste Kennzahl ist hierbei der Arbeitsfortschritt. Diese erfüllt die erste Aufgabe, indem sie Informationen für die Arbeitsvorbereitung in direkten und indirekten Bereichen bereitstellt. Weiterhin wird diese mit dem Planfortschritt und

Kostenfortschritt verglichen. Um weiterhin die Informationen zum Projektstatus, Rückstand und Produktivität abzuleiten, wurden weitere Kennzahlen entwickelt (Abbildung 12).



**Abbildung 12: Kennzahlen auf Basis der Messgrößen**

Die erste ist der Plan-Erfüllungsgrad, der aus dem Verhältnis von Ist-Abgang zu Plan-Abgang gebildet wird. Ist dieses Verhältnis kleiner als eins, hängt der Ist-Abgang dem Plan-Abgang hinterher. Um diesen Rückstand zu quantifizieren wird weiterhin der Rückstand direkt aus der Differenz von Plan-Abgang und Ist-Abgang gebildet. Die Produktivität bestimmt sich aus dem Verhältnis von Output zu Input, was in diesem Fall dem Verhältnis von Ist-Abgang zu bezahlten Stunden entspricht. Um auch diese wiederum zu quantifizieren, wird der Mehraufwand aus der Differenz von Ist-Abgang und bezahlten Stunden gebildet.

Zu beachten ist, dass die Messgrößen kontinuierlich sowie diskret erfasst werden. Bei der diskreten Messung wird der Ist-Abgang direkt auf Arbeitsgangebene gemessen. Sobald ein Arbeitsgang fertiggestellt ist, wird der gesamte Arbeitsinhalt als Ist-Abgang verbucht. Die bezahlten Stunden werden bereits auf Arbeitsgänge verbucht und es sind Plan-Endtermine für diese vorhanden. Für die kontinuierliche Messung gibt es verschiedene Möglichkeiten, den Ist-Abgang zu bestimmen. Das Schätzen hat sich für die derzeitige Situation in der Praxis als praktikabel erwiesen. Die Ist-Stunden werden über die Verbuchung auf die Arbeitsgänge erfasst. Für den Plan-Abgang sind keine Daten vorhanden, die eine kontinuierliche Messung unterstützen. Daher wird ein linearer Plan-Abgang angenommen.

### **1.3.2.8 FSG: Nutzbarkeit vorhandener Daten zur Produktivitätsbewertung**

### **1.3.2.9 MW: Nutzbarkeit vorhandener Daten (getaktete Unikatfertigung) zur Produktivitätsbewertung**

### **1.3.2.10 MDT: Nutzbarkeit vorhandener Daten (Retrofit) zur Produktivitätsbewertung**

### **1.3.2.11 FLW: Auswertung und Optimierung des Messverfahrens**

### 1.3.3 Fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung in Prozessen

Die Ist-Zeit-Erfassung ist eine Möglichkeit zur Detailanalyse von Prozessen und der zugehörigen Abläufe. In Anlehnung an die Rüstablaufanalyse ist eine Methode entstanden, die eng mit der Produktivitätsanalyse verbunden ist, indem sie auf dieselbe Modellierung der Mitarbeiterzustände zurückgreift.

#### 1.3.3.1 FLW: Anforderungen an die fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung

#### 1.3.3.2 FLW: Vorgehensweise zur Prozessauswahl

#### 1.3.3.3 Auswahl Referenzprozesse und Beschreibung mit Referenzprozessen

Die Arbeitsprozesse in den relevanten Bereichen wurden begleitet. In weiteren Workshops mit Mitarbeitern wurde zuerst die relevante Erfassungstiefe erarbeitet. Abbildung 13 stellt die gewählte Prozessebene dar.

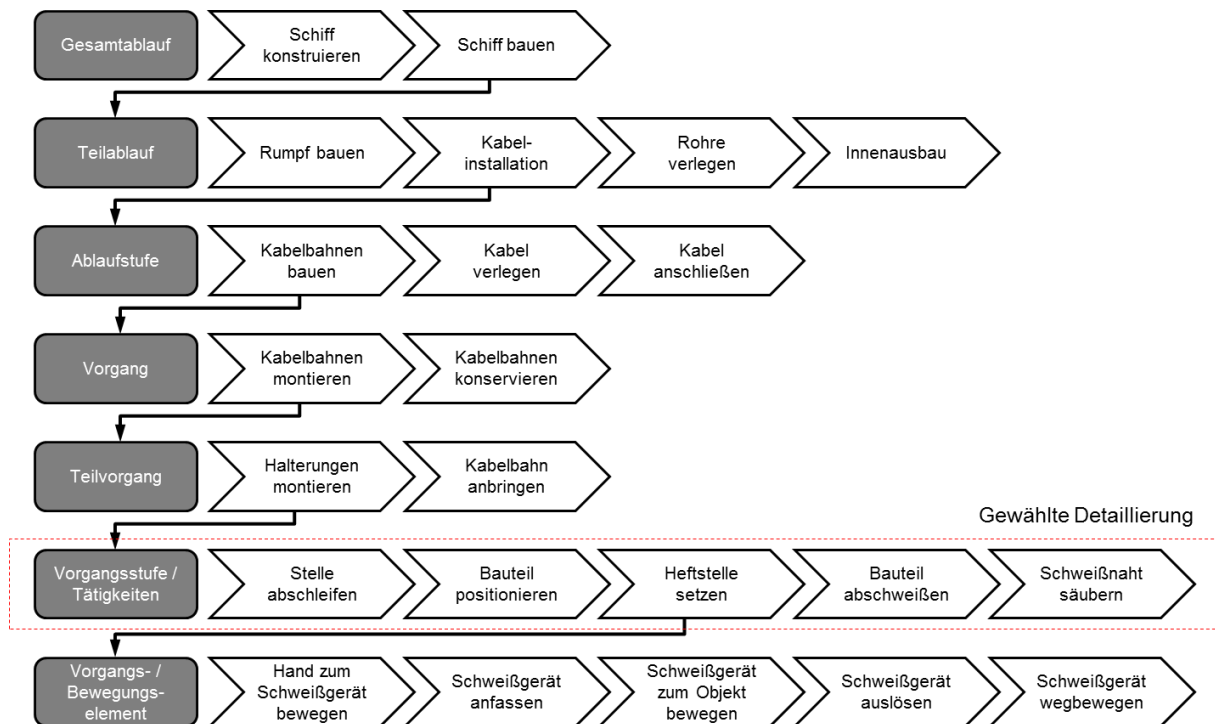
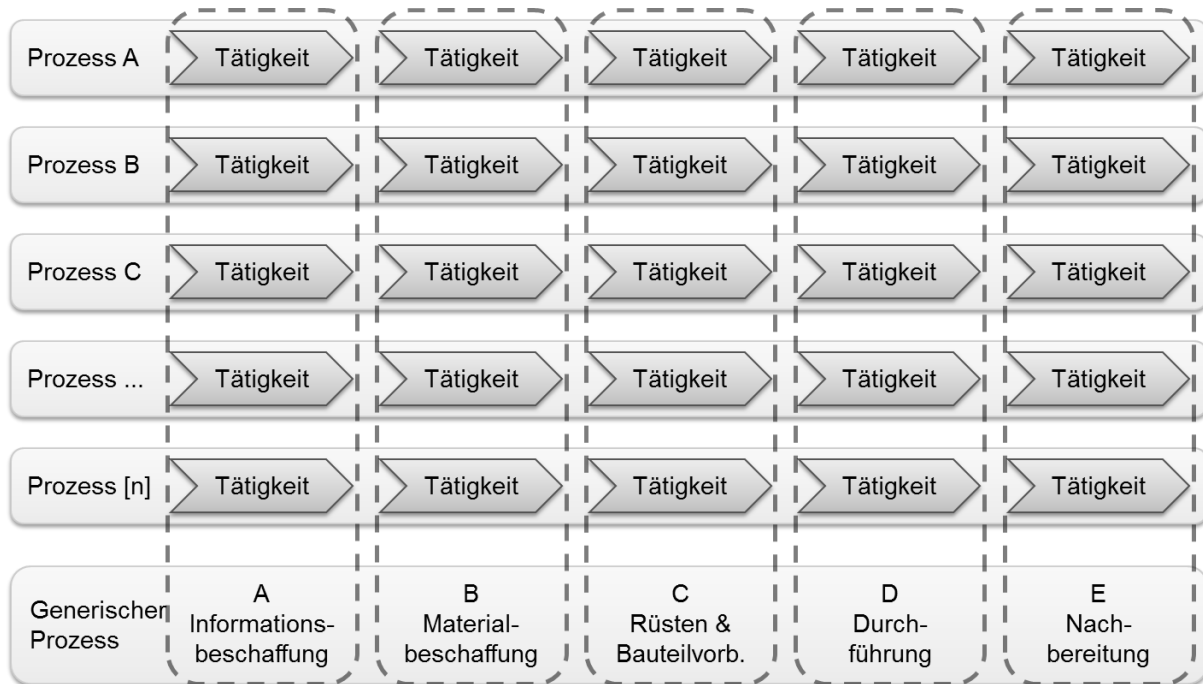


Abbildung 13: Darstellung der Prozessebenen

Es hat sich gezeigt, dass die Ebene der Vorgangsstufe am besten sowohl für eine Analyse als auch für eine Verbesserung geeignet ist. Zum einen sind die einzelnen Schritte ausreichend detailliert, um Verbesserungsmaßnahmen ableiten zu können. Zum anderen lassen sich die Tätigkeiten noch allgemein beschreiben, so dass eine generische Modellierung verwendet werden kann. Die verschiedenen Prozesse konnten alle mit Zuständen beschrieben werden, die sich aus einer Kombination von einer Tätigkeit und einem Objekt ergeben. Nach einer Analyse der so aufgenommenen Prozesse hat sich gezeigt, dass sich der idealtypische Verlauf

auch hier an dem generischen Arbeitsprozess orientiert. Abbildung 14 zeigt, dass sich alle Prozesse in die fünf Phase gliedern lassen.



**Abbildung 14: Prinzip des generischen Ablaufs**

Damit die Referenzprozesse einheitlich beschrieben werden, wird ebenfalls auf die Mitarbeiterzustände aus der Produktivitätsanalyse zurückgegriffen. Alle Prozesse ließen sich mit den generischen Tätigkeits- und Objektkategorien beschreiben. Ebenfalls war es sogar möglich, für den größten Teil der Prozesse dieselben Tätigkeiten zu benutzen. Somit ist es möglich, die Prozesse einheitlich zu beschreiben.

#### 1.3.3.4 FLW: Definition analyserelevanter Ressourcen

#### 1.3.3.5 Methode zur Aufnahme prozessbezogener Ist-Zeiten

Die fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung benutzt klassische Zeitaufnahmen. Dazu nimmt der Anwender den gesamten Prozessablauf standardisiert auf und notiert die Dauern und Reihenfolge der Mitarbeiterzustände. Ein Mitarbeiterzustand ist vollständig durch eine Tätigkeits-Objekt-Kombination beschrieben. Der Aufwand ist recht hoch und wird von der TUHH nur empfohlen, wenn spezifische Prozesse analysiert werden sollen. Dafür wird bei der Erfassung von Prozessen mit Prozessablaufanalysen die Reihenfolge der Mitarbeiterzustände berücksichtigt. In der Regel ist der generische Arbeitszyklus ein idealer Ablauf und bei Einhaltung dieser Reihenfolge ist eine Produktivitätssteigerung zu erwarten. Da die Mitarbeiterzustände bei der Verwendung der Prozessablaufanalyse in der Reihenfolge aufgenommen werden, können diese nach der Phase des generischen Arbeitszyklus sortiert werden. Das Ergebnis ist eine Prozessbeschreibung, die als neuer Standard verwendet werden kann. Abbildung 15 stellt den Auszug aus einem aufgenommenen Arbeitsprozess dar sowie einen neuen Soll-Ablauf. Beide Prozesse sind einheitlich mit denselben Mitarbeiterzuständen beschrieben.

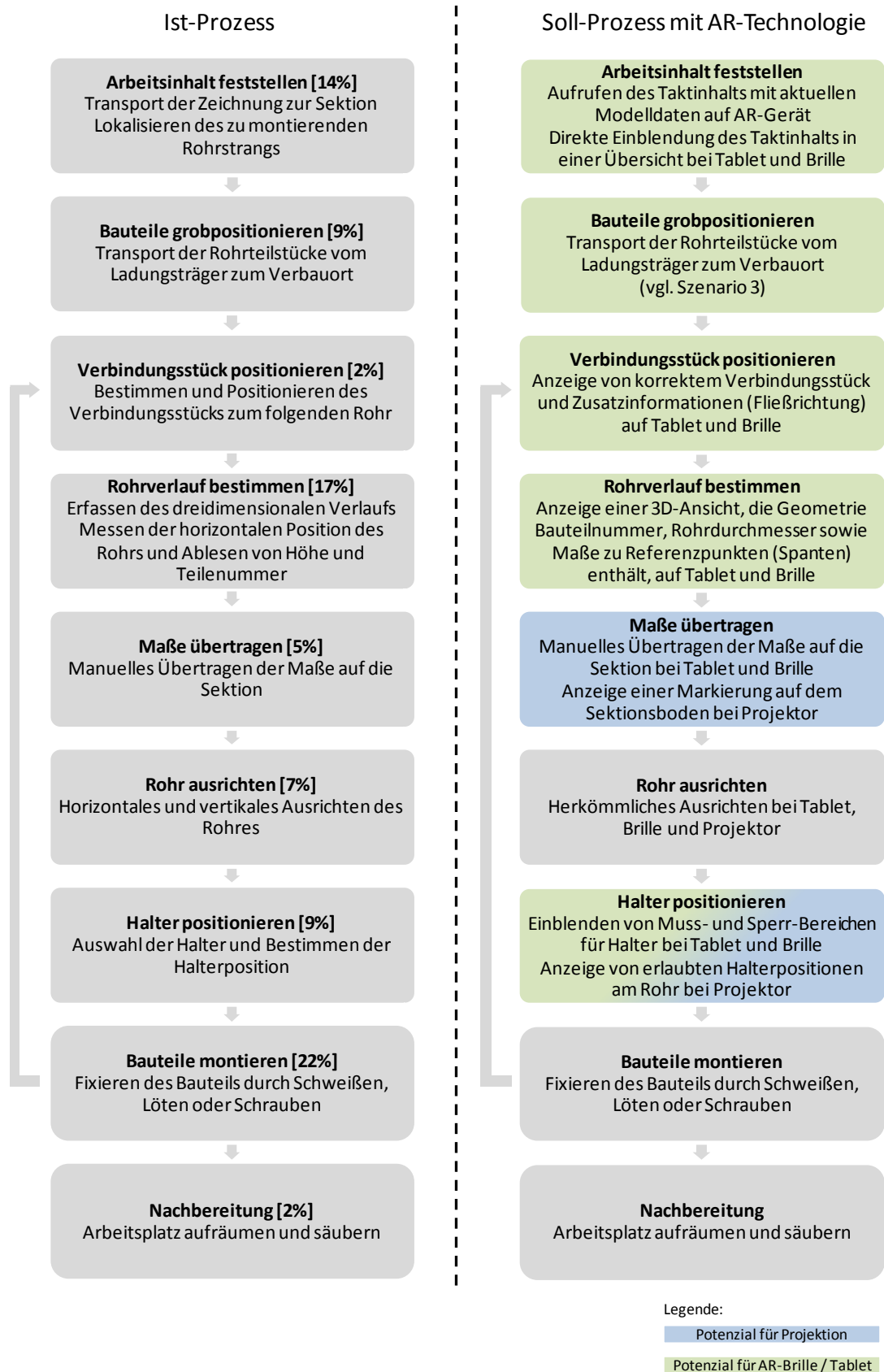


Abbildung 15: Ist- und Soll-Prozess zum Einbau eines Rohrstranges mit AR-Technologie

Auch in den indirekten Bereichen werden die Zeitaufnahmen für eine Prozessablaufanalyse empfohlen. Es hat sich ebenfalls als sinnvoll erwiesen, dass ein externer Beobachter in enger Absprache mit dem durchführenden Mitarbeiter die Zustände und Zeiten notiert. So wird sichergestellt, dass der Arbeitsablauf weniger gestört wird und die eigentlichen Verrichtungszeiten erfasst werden.

### 1.3.3.6 Software-Prototyp: Anwendung zur Zustands- und Ist-Zeit-Erfassung

Sowohl die Multimomentaufnahme als auch die Zeitaufnahmen mit der Tätigkeits-Objekt-Matrix erfordern einen hohen Erfassungsaufwand. Gleichzeitig besteht ein Risiko, da leicht Fehler beim Notieren auftreten können. Daher wurde eine Applikation für die Datenerfassung entwickelt. Aufgrund der großen Untersuchungsbereiche und des flexiblen Mitarbeiterinsatzes war eine mobile Lösung erforderlich. Das entwickelte Vorgehen besteht aus mehreren Schritten, die in Abbildung 16 dargestellt sind.



**Abbildung 16: Vorgehen bei der Verwendung der Applikation zur Datenerfassung**

Zuerst ist es notwendig, die Tätigkeiten und Objekte zu definieren. Dieser Schritt erfolgt mit einer Tabellenkalkulation. Im Forschungsprojekt wurde Microsoft Excel benutzt, da diese Software in der Industrie weit verbreitet ist und damit viele Mitarbeiter mit dem Umgang vertraut sind. In einer Vorlage für die Tätigkeits-Objekt-Matrix werden alle gültigen Mitarbeiterzustände übertragen. Ein selbst entwickeltes Makro generiert eine Extensible Markup Language-Datei (xml-Datei), die für die Übertragung auf ein mobiles Endgerät notwendig ist.

In einem zweiten Schritt wird die xml-Datei auf ein Tablet mit dem Betriebssystem Android übertragen. Nach dem Start der entwickelten Applikation kann der Anwender die Tätigkeits-Objekt-Matrix auswählen, die für die nächste Aufnahme benutzt werden soll. Dies hat den Vorteil, dass der Anwender verschiedene Aufnahmen mit unterschiedlichen Zustandsmatrizen im Untersuchungsbereich durchführen kann. Die Benutzeroberfläche der Applikation ist in Abbildung 17 dargestellt.

Sowohl die Zeitaufnahmen als auch die Multimomentaufnahmen können mit der entwickelten Applikation durchgeführt werden. Bei beiden Varianten wird das Ergebnis in einer Comma-separated-values-Datei (csv-Datei) gespeichert. Dieses Dateiformat ermöglicht ebenfalls eine spätere Verwendung für das Produktivitätscockpit. Diese Datei wird anschließend mit Microsoft Excel ausgewertet. Dies ist entweder über die Verwendung von Pivot-Tabellen möglich oder mit Hilfe eines Makros. Dieses Makro visualisiert die Zustandsanteile in der zuvor erstellten Tätigkeits-Objekt-Matrix. Abbildung 18 zeigt ein Beispiel.





Abbildung 17: Screenshot der Applikation für die Datenerfassung

Objektkategorie	Objekte	Taetigkeitskategorie	1			2		3				4			5			6	7	9	Summe	Objektkategorie
			Informationsbeschaffung und -verarbeitung			Material- und Hilfsmittelbeschaffung		Bauteil- und Bauplatz Vorbereitung				Durchfuehrung			Nachbereitung			warten auf	gehen zu	PVZ		
			1	2	3	1	2	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3					
1	Personal	1	Mitarbeiter	4%	9%													2%		14%	17%	
		2	A-Mann																	0%		
		3	Meister		1%															1%		
		4	fremde MW-Mitarbeiter																	0%		
		5	externer Mitarbeiter	1%	1%															2%		
2	Arbeitsunterlagen	1	KO-Plan	5%		1%												1%		7%	8%	
		2	3D-Plot																	0%		
		3	Stueckliste																	0%		
		4	Taktplan																	0%		
		5	sonstige Arbeitsunterlagen	0%																1%		
		6	Auftragsmappe																	0%		
		7	BDE-Terminal															1%		1%		
		8	CAD-Arbeitsplatz																	0%		
3	Transportmittel	1	Werkzeugkiste-schrank			0%	0%											1%		2%	8%	
		2	Ladungstraeger			0%	1%											1%		3%		
		3	Kran			1%													0%	2%		
		4	tionstransportsystem, Wendestat			0%														1%		
		5	sonstiges Transportmittel					0%												1%		
4	Betriebsmittel	1	sonstige Orte				1%											1%		2%	15%	
		2	Supermarkt				1%											1%		1%		
		3	Sektion	5%					2%	1%				0%			2%		12%			
5	Hilfsmittel	1	Handwerkzeug			2%	1%													3%	9%	
		2	Messwerkzeug			0%														1%		
		3	Schweissgeraet			1%	4%								1%				6%			
6	Material	1	Material, Werkstueck	1%		4%		1%	7%	1%	13%	6%	2%		0%	0%	0%		37%	37%		
7																2%	3%		5%	5%		
Summe			12%	5%	11%	11%	2%	7%	3%	7%	2%	13%	6%	2%	0%	2%	0%	2%	10%	3%	100%	
Taetigkeitskategorie			28%			13%		19%				22%			2%			15%			100%	

Abbildung 18: Beispielauswertung mit Microsoft Excel

In den indirekten Bereichen sollen die Mitarbeiter ihre Zustände selbst aufnehmen. Um diesen Vorgang zu unterstützen, wurden verschiedene Software-Prototypen entwickelt. Die ersten basierten auf Microsoft Excel. Die letzte Entwicklung ist ein web-basierter Ansatz. Die Software wird beim Start des Computers automatisch gestartet und fordert den Mitarbeiter zu zufälligen Zeitpunkten auf, seine gerade durchgeführte Tätigkeit und das involvierte Objekt einzugeben. Das Abfrageintervall kann dabei frei gewählt werden. Alle Eingaben werden zentral in einer Datenbank gespeichert, damit keine mitarbeiterspezifischen Auswertungen möglich sind. Abbildung 19 zeigt das Eingabefenster für die Anwendung der Selbstaufschreibung.

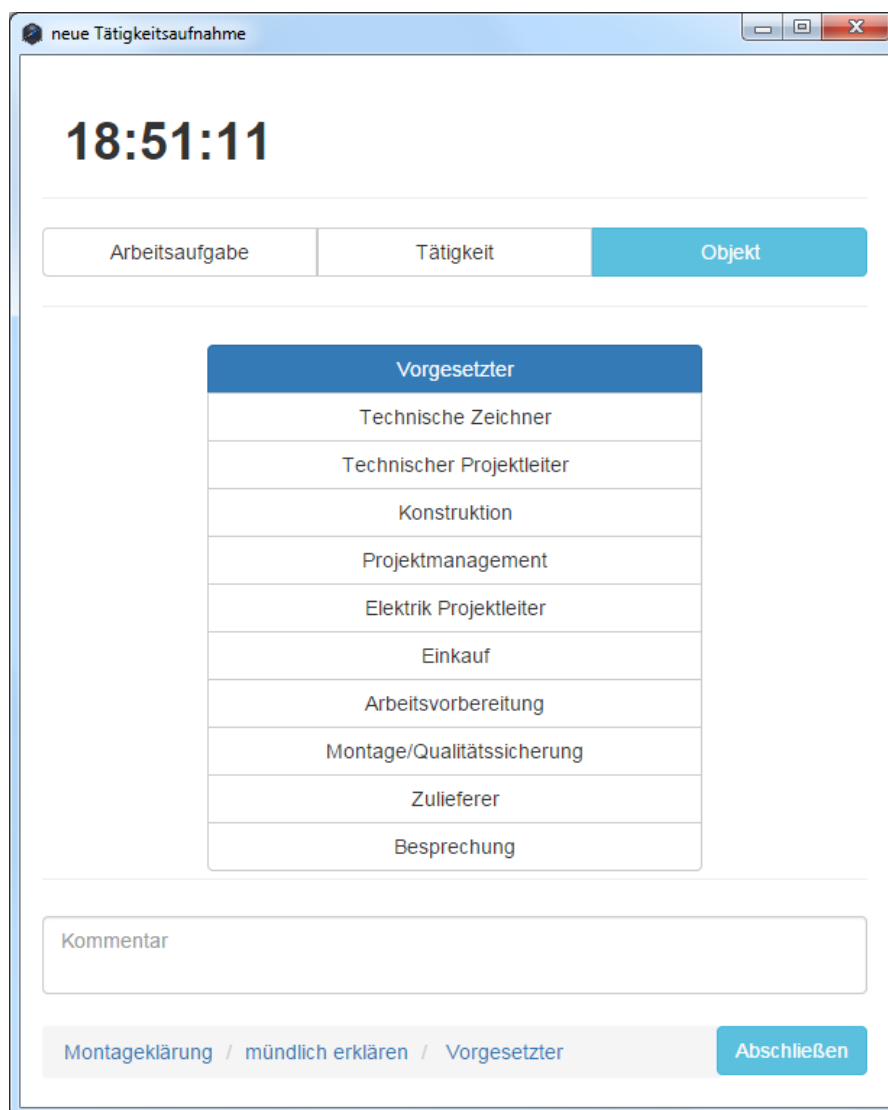


Abbildung 19: Eingabefenster für die Selbstaufschreibung

### 1.3.4 Methodenübergreifende Datenaggregation und -aufbereitung

#### 1.3.4.1 FLW: Aggregationslogik für relevante Wertbereiche

### 1.3.4.2 Formalisierung Aggregationslogik

Die Aggregationslogik hat zwei Aufgaben: Zum einen soll sie sicherstellen, dass die Auswertungen auf verschiedene Detaillierungsebenen möglich ist. Zum anderen sollen verschiedenen Datenerfassungsverfahren kombinierbar sein, um die bezahlte Zeit möglichst vollständig zu erfassen.

Der notwendige Detaillierungsgrad wurde so gewählt, dass der Arbeitsfortschritt auf alle geforderten Ebenen aggregiert werden kann. Für den Projektstatus wird beispielsweise eine grobe Aggregation auf Meilensteine benötigt, um einen Gesamtüberblick über das Projekt zu erhalten. Für die Rückstandsmessung ist es auf der anderen Seite von Vorteil, Kostenstellen zu betrachten, um rechtzeitig Maßnahmen auf dieser Ebene zu ergreifen, die einen Rückstand reduzieren. Eine andere Ebene, die für die Arbeitsvorbereitung zu betrachten ist, sind Örtlichkeiten oder Baugruppen, um eine effektive Produktionsplanung durchzuführen. Für das Konzept wird die Arbeitsgangebene als feinsten Detaillierungsgrad gewählt, da diese auf alle anderen geforderten Ebenen aggregiert werden kann. Abbildung 20 zeigt die Aggregation der Arbeitsgänge auf höhere Ebenen für die Struktur einer Werft.

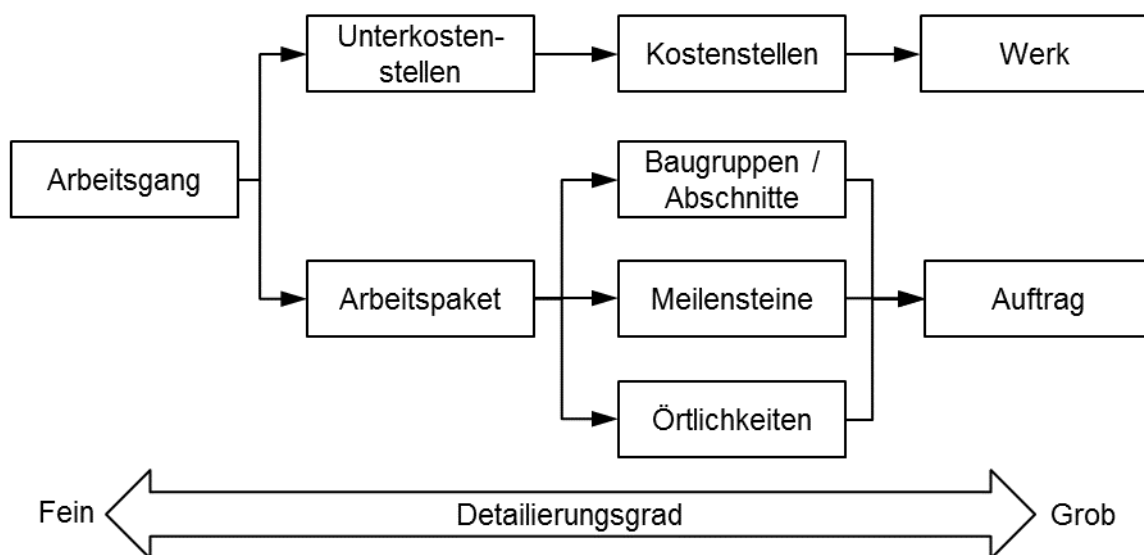


Abbildung 20: Aggregationsebenen

Anhand der dargestellten Struktur wird ersichtlich, dass auf Basis der Arbeitsgänge auf verschiedene Ebenen aggregiert werden kann. So lassen sich die Daten der Arbeitsgänge beispielsweise auf die nächsthöhere Ebene, die Unterkostenstellen oder Arbeitspakete aggregieren, die wiederum auf höhere Ebenen zusammengefasst werden.

Nur mit der Zeitaufnahme oder mit der Multimomentaufnahme alleine können nicht die gesamte bezahlte Arbeitszeit abgedeckt werden. Daher sollen auch weitere Einzelzeiten wie z. B. Krankheitstage mitberücksichtigt werden. Abbildung 21 zeigt ein Vorgehen zur Aggregation von unterschiedlichen Aufnahmen.

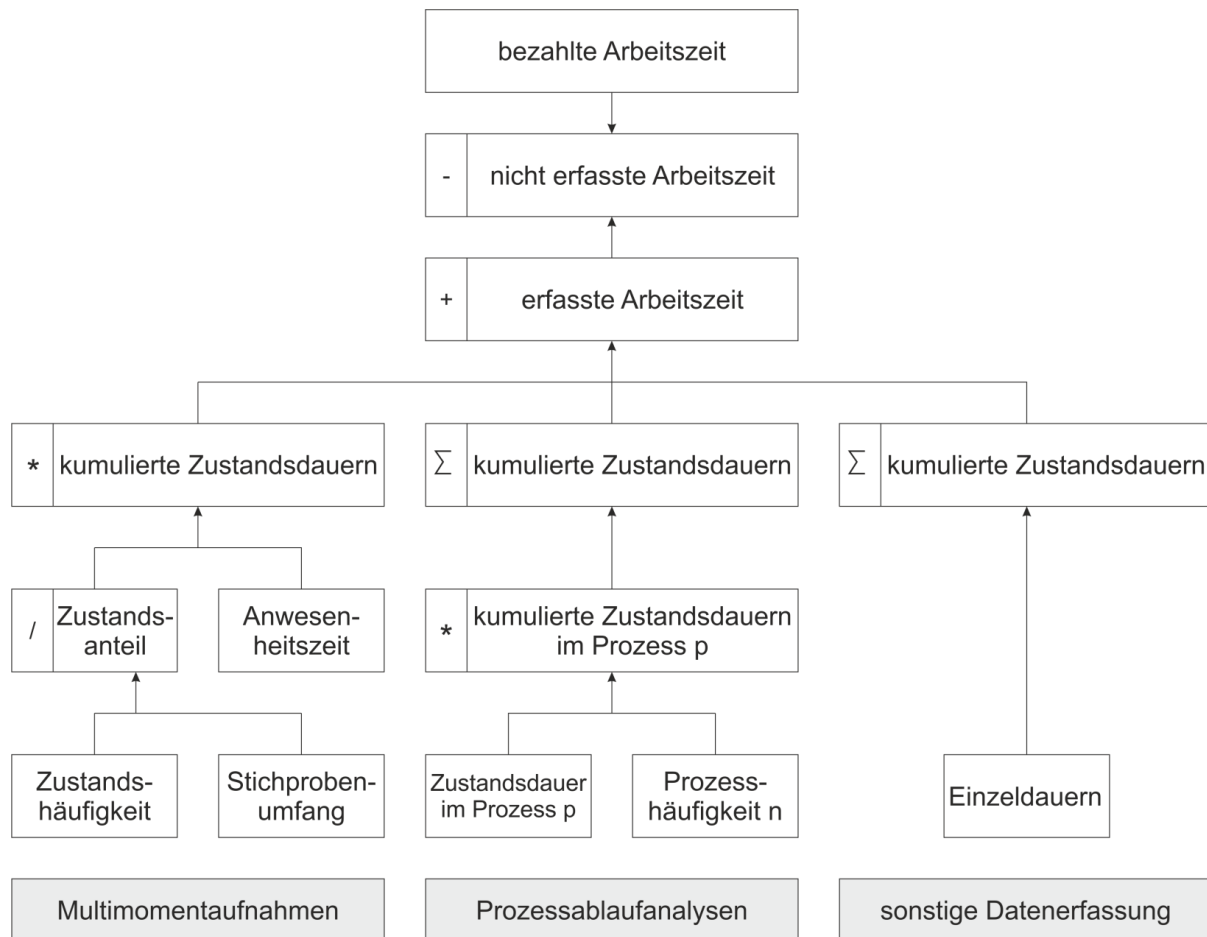


Abbildung 21: Aggregation von unterschiedlichen Erfassungen

**1.3.4.3 FLW: Kennzahlen und Standarddarstellungen zur Produktivitätsbewertung, Sektionsbau und Bordmontage**

**1.3.4.4 FLW: Kennzahlen und Standarddarstellungen zur Produktivitätsbewertung Engineering**

**1.3.4.5 FLW: Zusammenführung entwickelter Kennzahlen zur Gesamtbewertung**

**1.3.4.6 Integrationsfähige Datenbasis Gesamtbewertung Montage und Engineering**

Voraussetzung für die Bestimmung der Kennzahlen ist eine möglichst breite Datengrundlage. Eine Übersicht der verschiedenen Datenkategorien ist in Abbildung 22 dargestellt.

**A. Übersicht der Datenkategorien**

<i>Allgemeine Daten</i>	<i>Plandaten</i>	<i>Einmalige Ist-Daten</i>	<i>Wiederkehrende Ist-Daten</i>	<i>Problemursache</i>
Arbeitspaket	Plan-Start	Ist-Start	Produzierte Vorgabestunden	Verzögerungsursachen
Arbeitsgang	Plan-Ende	Ist-Ende	Bezahlte Arbeitsstunden	Mehraufwandsursachen
Schiff, Sektion, Raum Baugruppe, Unterbaugruppe	Plan-Vorgabestunden	- / -	Spezifischer Output	- / -
Kostenstelle Unterkostenstelle	- / -	- / -	- / -	- / -

**Abbildung 22: Datengrundlage**

- **Allgemeine Daten:** Die Datengrundlage setzt sich aus allgemeinen Daten zusammen, die eine Zuordnung von Arbeitsgängen zu Arbeitspaketen ermöglicht. Weiterhin gehören zu den allgemeinen Daten räumliche Gegebenheiten. Diese können das Schiff, die entsprechende Sektion und Baugruppe, sowie den Raum bzw. die Unterbaugruppe innerhalb des Schiffes beinhalten. Neben der örtlichen Zuordnung ist die Zuordnung zu Kostenstellen und Unterkostenstellen in den allgemeinen Daten miterfasst.
- **Plandaten:** Der zweite Bereich der Datengrundlage besteht aus den zugewiesenen Plandaten. Diese teilen sich auf in Plan-Start und Plan-Ende und den zugehörigen Plan- bzw. Vorgabestunden. Diese Daten geben die Grundlage für eine detaillierte Terminplanung einzelner Arbeitsschritte.
- **Einmalige Ist-Daten:** Entsprechend der Plan-Daten folgt in einem weiteren Bereich die Aufnahme der Ist-Daten. Diese teilen sich wiederum in zwei Kategorien auf: die erste Kategorie beinhaltet die einmalig aufgenommenen Ist-Daten. Zu diesen zählen der Ist-Start und das Ist-Ende und die gesamten verbuchten Stunden.
- **Wiederkehrende Ist-Daten:** Eine weitere Kategorie erfasst die häufiger auftretenden bzw. wiederkehrenden Ist-Daten. Dazu zählen regelmäßig gebuchte produzierte Vorgabestunden, bezahlte Arbeitsstunden und spezifische Outputgrößen.
- **Problemursachen:** Der letzte Bereich der Datengrundlage befasst sich mit Problemursachen. Zu diesen gehören Verzögerungsursachen und Mehraufwandsursachen.

Die Datenaggregation dient dazu, die vorhandenen, einzelnen Daten miteinander zu verbinden und die Datenvielfalt zu verringern. Dadurch entstehen weniger Daten, die jedoch eine höhere Informationsdichte aufweisen. Dies geschieht durch die Verknüpfung der Daten in der Datenbankstruktur miteinander. Dabei werden die Daten aus den unterschiedlichen Teilbereichen in Abbildung 22 übergreifend verbunden, und es lassen sich beispielsweise Buchungen von bezahlten Arbeitsstunden und produzierten Vorgabestunden zu spezifischen

Outputgrößen aggregieren. Die Datenauswertung kann die so aggregierten Daten weiterverarbeiten.

Wenn keine ausreichenden Bezüge zwischen den Daten bestehen oder sich diese nicht sinnvoll aggregieren lassen, ist dieser Schritt nicht durchführbar. Da überwiegend der Teilbereich der allgemeinen Daten die Möglichkeiten der Aggregation bereitstellt, müssen alle aufgenommenen Daten über diesen Teilbereich in Verbindung stehen.

Da sich die Projekte über größere Zeitbereiche und viele verschiedene Zuständigkeitsbereiche erstrecken, ist eine Auswahl an Filtermöglichkeiten bereitgestellt. Zum einen lassen sich der Start und das Ende des Anzeigebereichs darstellen. Dadurch lassen sich für bestimmte Auffälligkeiten in den Darstellungen die relevanten Bereiche näher betrachten.

Weiterhin lassen sich Filter für die Kostenstelle setzen, um einen Überblick zu erhalten wie sich die Kennzahlen und Kennzahlenverläufe für einzelne Kostenstellen verhalten. Örtliche Filter können ganze Schiffe, wenn die Datengrundlage mehrere Schiffe enthält, auswählen, aber auch innerhalb der Schiffe einzelne Sektionen und Baugruppen. Eine weitere Filtermöglichkeit besteht in der Auswahl bestimmter Arbeitspakete, deren Verlauf von Interesse ist. Die Filter lassen sich unabhängig voneinander setzen und nach Bedarf verknüpfen.

Die Tabelle in Abbildung 23 stellt die Bewertung der Praxisdaten anhand der verschiedenen Teilbereiche dar. Es wird die Erfassung der Daten bewertet und falls vorhanden, wie die Güte der Daten bezogen auf die Verwendung im Produktionscockpit ist. Bis auf die Problemursachen liegen aus allen Teilbereichen Daten vor.

	<i>Allgemeine Daten</i>	<i>Plandaten</i>	<i>Einmalige Ist-Daten</i>	<i>Wiederkehrende Ist-Daten</i>	<i>Problemursache</i>
<i>Erfasst</i>	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
<i>Güte</i>	+	+/-	+	o	/

+/-: hohe/mittlere/geringe Güte

**Abbildung 23: Bewertung der Praxisdaten**

### 1.3.4.7 Software-Prototyp: Grundelemente Datenaggregation und -aufbereitung

Um die Daten für das Produktionscockpit bereit zu stellen, wird eine MySQL-Datenbank verwendet. In diese Datenbank kann die Datengrundlage direkt als \*.SQL-Datei importiert oder aber auch über den Import einer \*.csv-Datei eingefügt werden. Dies bietet den Vorteil, dass sich über den Zugriff einer im Netzwerk freigegebene Datenbank von unterschiedlichen Standorten aus direkt neue Datensätze in die Datenbank einpflegen lassen und diese auch von unterschiedlichen Standorten abrufbar sind. Jedoch ist darauf zu achten, dass die Daten in der benötigten Formatierung und Struktur vorliegen müssen. Abbildung 24 zeigt beispielhaft die Datenbankstruktur.

### Datenbankstruktur für Arbeitsgänge

+ Optionen		id	arbeitsgang_nr	arbeitspaket	kostenstelle	unterkostenstelle	sektion	raum
<input type="checkbox"/>		1	400	81090	262		810	
<input type="checkbox"/>		2	100	83090	265		830	
<input type="checkbox"/>		3	10	90200	260		902	
baugruppe	unterbaugruppe	schiff	start_plan	ende_plan	start_ist	ende_ist	vorgabestunden	mehraufwand
			2009-07-27	2012-03-19	2009-10-12	2012-03-05	732	0
			2012-04-02	2012-06-11	2012-01-30	2012-01-30	0	0
			2009-09-14	2012-07-30	2009-11-09	2012-12-17	15000	0

### Datenbankstruktur für Output

+ Optionen		id	arbeitspaket_nr	arbeitsgang_nr	datum	kategorie	output_value
<input type="checkbox"/>		1	2	200	200 2015-01-20 00:00:00	1	9
<input type="checkbox"/>		2	2	200	200 2015-01-21 00:00:00	1	9
<input type="checkbox"/>		3	2	200	200 2015-01-22 00:00:00	1	9

### Datenbankstruktur für Probleme

+ Optionen		id	arbeitsgang_nr	anzahl_std	ursache	datum	arbeitspaket_nr
<input type="checkbox"/>		1	200	20	Material fehlt	2015-05-28 12:26:47	2
<input type="checkbox"/>		2	200	30	Hilfsmittel fehlt	2015-05-28 12:26:47	2
<input type="checkbox"/>		3	200	10	keine personellen Kapazitaeten	2015-05-28 12:26:47	2

### Datenbankstruktur für Nacharbeit

+ Optionen		id	arbeitspaket_nr	arbeitsgang_nr	datum	verzoegerungsursache	mehraufwandsursache
<input type="checkbox"/>		1	2	200	2015-05-28 12:27:00	NULL	NULL
<input type="checkbox"/>		2	2	200	2015-05-28 12:27:00	NULL	Zeichnung fehlerhaft
<input type="checkbox"/>		3	2	200	2015-05-28 12:27:00	Hauptprodukt fehlt	NULL

### Datenbankstruktur für Arbeitsstunden

+ Optionen		id	arbeitspaket_nr	arbeitsgang_nr	datum	prod_vorgabestunden	bez_arbeitsstunden
<input type="checkbox"/>		1	342907	100	2012-06-04	21	21
<input type="checkbox"/>		2	342907	100	2012-05-28	25	25
<input type="checkbox"/>		3	342907	100	2012-05-28	12	12

### Datenbankstruktur für Output-Kategorien

+ Optionen		id	kategorie	soll
<input type="checkbox"/>		1	Kupferrohrmeter	4
<input type="checkbox"/>		2	Abgasschachtmeter	4

Abbildung 24: Datenbankstruktur des Produktionscockpits

Ein Eintrag in der Datenbank besteht in diesem Beispiel aus einer fortlaufenden ID, der Arbeitsgangsnummer, dem zugehörigen Arbeitspaket, der Kosten- und Unterkostenstelle. Weiterhin ist die Sektion, der entsprechende Raum, die Baugruppe und Unterbaugruppe sowie das Schiff vermerkt. Dies zählt zu den in Abbildung 22 aufgeführten allgemeinen Daten. Aus dem Bereich der Plandaten sind neben dem geplanten Start- und Endtermin auch die geplanten Vorgabestunden in der Datenbankstruktur vorhanden. Als einmalige Ist-Daten sind zu den Plandaten die tatsächlichen bzw. Ist-Start und Ist-Ende Daten vorhanden. Durch die genannten Attribute lassen sich die vorhandenen Einträge durch die in Abbildung 24 gezeigten Filtermöglichkeiten entsprechend auswählen. Diese Struktur, bestehend aus allgemeinen Daten und zugeordneten Plan- bzw. Ist-Daten, zieht sich ebenfalls durch die weiteren Datenbankstrukturen für den Softwareprototypen. Bei der Erstellung der Einträge ist auf die richtige Anzahl der Datenspalten für jede einzelne Datenbank zu achten. Außerdem ist es für eine korrekte Anzeige erforderlich, dass die Formatierung der Daten den vorgegebenen Formaten entspricht.

### 1.3.5 Ursachenanalyse und Maßnahmenableitung

#### 1.3.5.1 Beschreibungsvorlage Ursachen-Handlungsfeld-Bündel

Es wurde eine Beschreibungsvorlage erstellt, die eine Zuordnung von Ursachen zu Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht. Dabei wurden zwei mögliche Verfahren entwickelt. Zum einen wurden sowohl standardisierte Verzögerungs- und Mehraufwandsursachen definiert. Diese sind in Abbildung 25 dargestellt.

<i>Verzögerungsursachen</i>	<i>Mehraufwandsursachen</i>
Material fehlt	Material fehlerhaft
Material fehlerhaft	Zeichnung fehlerhaft
Zeichnung fehlerhaft	Planvorgabestunden falsch
Information fehlt	Maschine/Werkzeug fehlerhaft
Keine Kapazitäten	Schätzungen
Maschine/Werkzeug fehlt	Fragebögen
Maschine/Werkzeug fehlerhaft	falsche Abmessung
Interner Ausschuss	
falsche Abmessung	

Abbildung 25: Standardisierte Ursachen

Zum anderen ermöglicht die Zuordnung der Tätigkeiten zu den Phasen des generischen Arbeitszyklus eine Auswahl der relevanten Handlungsfelder.



### 1.3.5.2 Anforderungen und Vorgehensweise Ursachenanalyse

Die Ursachenanalyse ist zweigeteilt. Zuerst erfolgt die Identifikation von verbesserungsrelevanten Mitarbeiterzuständen. Diese kann z. B. über den Rang erfolgen. Anschließend werden die Ursachen für diesen Zustand mit Hilfe eines Ishikawa-Diagramms systematisch untersucht. Das gewählte Verfahren unterteilt die Ursachenkategorien in sechs Kategorien: Mensch, Maschine, Material, Methode, Milieu, Management, Messmittel. Abbildung 26 zeigt ein Beispiel für ein solches Vorgehen. Dabei wird das Vorgehen durch ein mehrmaliges Hinterfragen des Warum unterstützt.

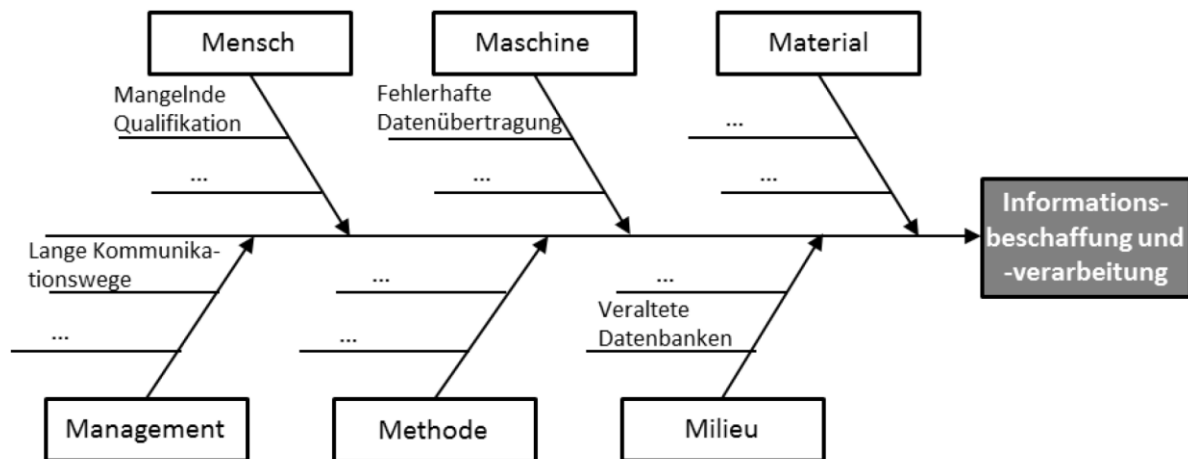


Abbildung 26: Beispiel für eine Ursachenanalyse für ein Handlungsfeld (allgemein)

Falls notwendig werden weitere Detailanalysen durchgeführt. Wenn z. B. der Zustand *Gehen* verbessert werden soll, ist es sinnvoll, ein Spagetti-Diagramm der Laufwege zu erstellen. Die Ursachenanalyse soll in einem Workshop mit allen beteiligten Mitarbeitern erfolgen, um die Ursachen für die Mitarbeiterzustände vollständig zu erfassen und richtig zu priorisieren.

### 1.3.5.3 Verfahren zur Methodensetbildung

Damit gezielt Verbesserungsmaßnahmen mit den Mitarbeiterzuständen bzw. deren Ursachen „gemacht“ werden können, ist eine Klassifikation sowohl der Zustände als auch der Methoden notwendig. Für die Tätigkeiten werden dazu Kategorien in Form der Phasen des generischen Arbeitszyklus herangezogen. Um die Methoden weiter zu klassifizieren, werden zusätzlich die sechs Ursachenkategorien aus dem Ishikawa-Diagramm gewählt. Das Ergebnis ist eine Methodendatenbank, die aufzeigt, an welchen Kategorien die Verbesserungsmethode angreift. Ein Auszug ist in Abbildung 27 dargestellt.

Konzept, Methode, Werkzeug	Gestaltungsfelder						Ursachenkategorien					
	Informationsbeschaffung/-verarbeitung	Material-/Hilfsmittelbeschaffung	Bauteil-/Bauplatzvorbereitung	Durchführung	Nachbereitung	Mensch	Maschine	Material	Methode	Milieu	Management	
5 S		X	X		X	X		X		X		
5 x Warum	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
8D-Report		X				X						
A3-Methode	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Autonomation				X	X		X	X				
Ishikawa-Diagramm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Poka Yoke				X		X	X				X	
Statistische Prozessregelung					X	X	X	X				
Werkerselbstkontrolle				X	X	X	X	X				
Andon	X					X	X					
Shopfloor Management	X					X			X		X	
First in First out		X						X			X	
One Piece Flow				X		X		X			X	
Schnellrüsten			X				X	X			X	
Wertstromplanung		X	X	X		X	X	X			X	
Layoutoptimierung		X		X					X		X	
Just in Time/Just in Sequence		X						X			X	
Kanban		X						X		X	X	
Milkrun		X						X	X		X	
Nivellierung		X	X				X				X	
Supermarkt		X						X		X	X	
Total Productive Maintenance					X	X	X	X	X		X	

Abbildung 27: Auszug aus der Methodendatenbank

Die vorgenommene Klassifikation kann dazu führen, dass der Anwender eine Auswahl zwischen mehreren Maßnahmen für ein Handlungsfeld treffen muss. In diesem Fall ist es ziel führend, in Zusammenarbeit mit mehreren Mitarbeitern des betreffenden Fertigungsbereiches, eine geeignete Maßnahme bzw. Kombination von mehreren Maßnahmen zu bestimmen. Auf diese Weise nutzt das Unternehmen das vorhandene Erfahrungswissen der Mitarbeiter und kann gleichzeitig die Akzeptanz der anstehenden Maßnahmeneinführung steigern. Ein weiterer Vorteil dieses Vorgehens ist eine genaue Beurteilung der möglichen Verbesserungswirkung. Zudem kann das Unternehmen die Klassifikation mithilfe einer zeitnahen Rückmeldung der Mitarbeiter über den Effekt der Maßnahme kontinuierlich verbessern. Dies unterstützt das Erarbeiten von Best-Practice-Lösungen, die das Unternehmen für die Einführung in weitere Fertigungsbereiche nutzen kann.

Im Rahmen der Einführung eines maritimen Produktionssystems ist es ebenfalls notwendig, den Methodenkatalog mit weiteren Informationen zu erweitern. Dieser sollte einen einheitlichen Aufbau aufweisen sowie eine zusammenfassende Übersicht der relevanten Informationen bieten. Folgende Punkte sollten darin enthalten sein:

- Methodenbezeichnung
- Alternative Methodenbezeichnung für ein einheitliches Begriffsverständnis
- Zielsetzung der Methode
- Vorteile und Nachteile der Methode
- Einsatzgebiet der Methode
- Aufwand und Nutzen
- Erwartete Ergebnisse
- Kurze Beschreibung der Vorgehensweise
- Anwendergruppe
- Implementierungsdauer
- Werkzeuge/ Hilfsmittel
- Ergänzende Methoden
- Demonstrationsbeispiel

#### **1.3.5.4 Software-Prototyp: Ursachenanalyse und Maßnahmenableitung**

Der Software-Prototyp für die Maßnahmenableitung wurde in Microsoft Excel umgesetzt. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die Methodendatenbank leicht erweiterbar ist. Eine auf Visual Basic basierte Eingabemaske dient dazu die verbesserungsrelevante Tätigkeitskategorie und die Ursachenkategorie einzugeben. Aus einer Tabelle, in der alle Methoden klassifiziert sind, werden nun die passenden Methoden gefiltert und dem Benutzer vorgeschlagen.

Für die Ursachenanalyse wurde ein Software-Prototyp entwickelt und in mehreren Workshops evaluiert. Es hat sich gezeigt, dass aufgrund der interdisziplinären Zusammensetzung und der meist größeren Anzahl an Teilnehmern (in der Regel mehr als drei) häufig auf eine analoge Vorgehensweise präferiert wurde. Die Entwicklung eines Ishikawa-Diagramms gemeinsam an einem Poster führte häufig zu einer zielgerichteten Diskussion.

### **1.3.6 Produktivitätscockpit**

#### **1.3.6.1 Modulsystematik Produktivitätscockpit**

Es wurden mehrere Module für das Produktivitätscockpit entwickelt.

1. Das erste Modul stellt die Ergebnisse der Produktivitätsanalysen dar und zeigt Verbesserungspotentiale auf.
2. Das zweite Modul ergänzt die Ergebnisse der Produktivitätsanalyse um weitere Produktivitätskennzahlen, die zusätzlich definiert werden können.
3. Das dritte Modul veranschaulicht die Abarbeitungsgrade und ermöglicht die Aufdeckung von zeitkritischen Vorgängen.
4. Das vierte Modul ist optional und umfasst Qualitätskennzahlen, die je nach Anwendungsfall definiert werden.

Alle Module greifen auf eine Datenbank zu, die in SQL geschrieben ist. Dieses stellt sicher, dass Daten aus unterschiedlichen Quellen berücksichtigt werden können. Als Austauschformat dient zunächst das Dateiformat *Comma-separated values* (CSV). Dieses Format ist von verschiedenen Software-Plattformen lesbar. Das Cockpit wird in der Sprache HTMLÖ programmiert, damit die Benutzung möglichst unabhängig von dem verwendeten IT-System ist.

#### **1.3.6.2 FLW: Bestimmung geeigneter Produktivitätscockpit-elemente (FLW)**

#### **1.3.6.3 FSG: Bestimmung geeigneter Produktivitätscockpit-elemente (Ausrüstungsmontage)**

#### **1.3.6.4 MW: Bestimmung geeigneter Produktivitätscockpit-elemente (getaktete Unikatfertigung)**

#### **1.3.6.5 MDT: Bestimmung geeigneter Produktivitätscockpit-elemente (Retrofit)**

#### **1.3.6.6 Software-Prototyp: Integration der entwickelten Module im Auswertungsmodul**

Die vorhandene Datengrundlage wird in dem Produktionscockpit in die drei Kategorien Zeit, Kosten und Qualität aufgeteilt. Innerhalb dieser Kategorien werden die definierten Kennzahlen dargestellt. Zu den zeitlichen Kennzahlen gehören die Termintreue, die in Termintreue offener und abgeschlossener Arbeitsgänge aufgeteilt wird, der Rückstand, der in einem zeitlichen Durchlaufdiagramm dargestellt wird und in Form eines Erfüllungsgrades, sowie eine Analyse der Reihenfolgeabweichung durch ein Statusdiagramm und Verzögerungsursachen.

Für die Darstellung der Kostenübersicht werden die Kostenkennzahlen herangezogen. Diese bestehen aus einem Durchlaufdiagramm der Arbeitsstunden und einer Auswertung der Mitarbeiterproduktivität, der Darstellung der vorab definierten spezifischen Outputgrößen und den damit verbundenen spezifischen Produktivitäten und einem Produktivitätsdiagramm mit den entsprechenden Mehraufwandursachen. Als dritte Kategorie, der Qualitätsansicht, werden die Nacharbeit und die Fehlerursachen für die anfallende Nacharbeit erfasst.

Die Darstellung erfolgt anschließend auf verschiedene Arten. Zum einen über zeitliche Fortschrittsdiagramme, zum anderen auch für Kennzahlen wie z. B. prozentuale Produktivitäten in Form von Balkendiagrammen. Dadurch ist gewährleistet, dass die entsprechende Kennzahl übersichtlich dargestellt wird. Weiterhin zur Verbesserung der Übersichtlichkeit erfolgt die Darstellung auf Wochenbasis. Für kurzweilige Projekte und Arbeitsvorgänge von wenigen Tagen ist diese Darstellung unzureichend. Jedoch in der maritimen Anwendung, bei Projekten über große Zeitbereiche, stellt sich diese Anzeige als übersichtlich und ausreichend detailliert heraus. Zusätzlich ergibt sich ein Glättungseffekt der Daten, und es lassen sich einfacher Aussagen zu Trends und Verhalten der Kennzahlen treffen.



Abbildung 28: Screenshot des Produktionscockpits

Die Komplexität der Datenauswertung erfordert eine IT-Lösung. Dazu wird der verwendete Softwareprototyp für das Produktionscockpit nachfolgend vorgestellt und die Umsetzung der verschiedenen vorgestellten Elemente in der grafischen Benutzeroberfläche aufgezeigt. Abbildung 28 zeigt die zeitliche Ansicht des Softwareprototyps.

Grundlegend teilt sich die Benutzeroberfläche in drei Bereiche auf. Im oberen Bereich ist der Auswahlbereich für die drei verschiedenen Ansichten – Zeit, Kosten und Qualität – zu sehen. In diesen Bereich gliedert sich ebenfalls ein Element für das Aktualisieren der Ansicht im Falle einer Änderung in der Datengrundlage sowie ein Element für das Zurücksetzen der gesamten Ansicht ein. Im linken Bereich sind die Filtermöglichkeiten angeordnet. In diesen lassen sich sowohl die Kostenstelle, das Schiff, Sektion und Baugruppe auswählen, wie auch einzelne Arbeitspakete. Die Auswahl erfolgt hierbei additiv. Somit lassen sich mehrere unterschiedliche Elemente je Filter auswählen und auch einzeln wieder abwählen. Am unteren Ende der Filtermöglichkeiten schließt sich die Eingrenzung des Zeitbereichs für die Betrachtung und Darstellung der Daten an. Durch die Auswahl des Start- und End-Zeitpunkts lassen sich die relevanten Datenbereiche zusätzlich zu den oberen Filtermöglichkeiten auch zeitlich eingrenzen. Wenn die Datengrundlage aus mehreren verschiedenen Datenbanken besteht, lassen sich diese über die Auswahl der Datenbank in das Produktionscockpit laden. Der Hauptteil des Produktionscockpits, die Darstellung der ausgewählten Daten, findet zentral und farblich abgesetzt in der Mitte der Benutzeroberfläche statt. Hier werden dem Benutzer über zeitliche Durchlaufdiagramme und Balkendiagramme die relevanten Kennzahlen und Daten dargestellt. Diese Darstellung wechselt je nach Auswahl der Ansicht – Zeit, Kosten oder Qualität – ihr Aussehen für die kosten- bzw. qualitätsorientierten Kennzahlen.

Die Produktivitätsanalyse kann, falls gewünscht, noch detaillierter ausgewertet werden. Der Hauptgrund hierfür ist die Komplexität der Modellierung und die damit verbundene hohe Anzahl der Auswertungsmöglichkeiten. Eine praktikable Lösung für ein solches Auswertungstool kann mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes mit Pivot-Funktion (beispielsweise Microsoft Excel) erreicht werden. Die Aufnahmedaten können mithilfe eines Plugins direkt aus der Datenbank bezogen werden, sodass Zwischenauswertungen live und während der Datenaufnahme unternommen werden können. Ebenso finden Tabellenkalkulationen heutzutage in jedem Unternehmen Anwendung, sodass nahezu jeder Mitarbeiter in der Lage ist diese zu bedienen. In der Abbildung 29 ist ein solches Auswertungstool gezeigt.

Die Details sind hierbei nicht von Belangen, lediglich die Anordnung der Informationen ist relevant. Im oberen Bereich wurden Kopfdaten zu der unternommenen Analyse gesammelt. Der Anwender sieht direkt, welche einflussreichen Bedingungsgrößen mit welchen Häufigkeiten auftraten und welche Filterungen damit zu relevanten Ergebnissen führen. Ebenso beinhaltet dieser Bereich sämtliche Navigationselemente. Durch drei Auswahlmenüs können hier zwei Bedingungsgrößen sowie die Phasen des generischen Arbeitszyklus eingeschränkt werden. Im Zuge dessen werden im unteren Bereich die Anteile der Zyklusphasen in Kreisdiagrammen sowie die Top-Tätigkeiten und Top-Zustände dargestellt. Zu jeder Top-Liste wird

dem Anwender der zugrundeliegende Vertrauensbereich angezeigt, sodass keine Scheingenaugigkeit entsteht.

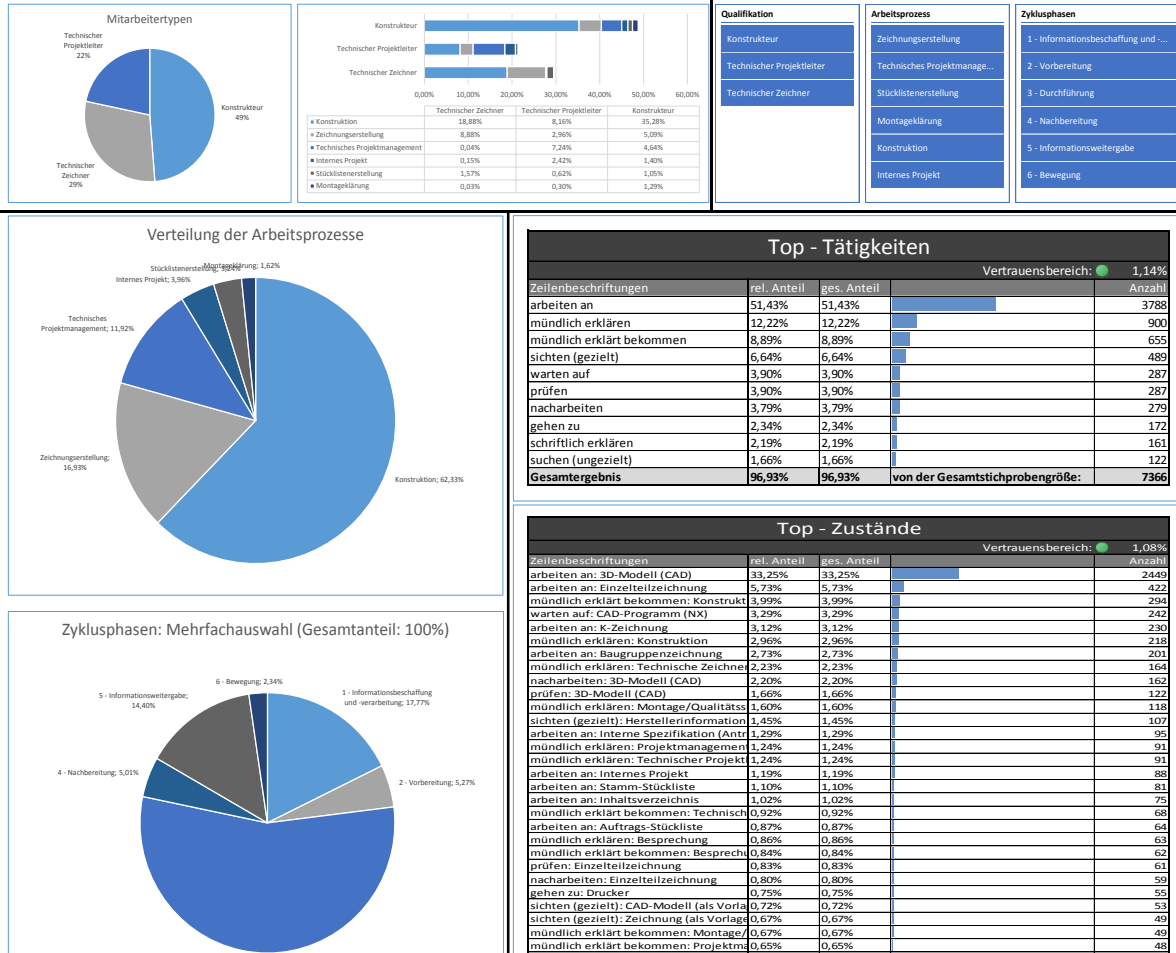


Abbildung 29: Layout des Auswertungstools

### 1.3.6.7 FLW: Adaption und Integration Produktivitätscockpit FLW

## 2 Technologievorbereitung

Das Projekt konnte zeigen, dass ein systematischer Produktivitätsmanagement-Ansatz für die schiffbaulichen Unikatproduktion wichtig ist. Um die angestrebten Produktivitätssteigerungen zu erreichen, war eine genaue Planung notwendig, die unter den gegebenen Umständen meist schwierig zu realisieren war. Zwar beschrieben viele Werften die Arbeitspakete bereits sehr detailliert. Allerdings gelang es ihnen noch nicht, diese Informationen in geeigneter Form und zum erforderlichen Zeitpunkt dem Werker in der Produktion zur Verfügung zu stellen. Die vielfach übliche Nutzung nicht-digitaler Informationsträger verursachte mit der Informationszunahme immer größere Probleme. Entsprechend sollten neue technologiegestützten Konzepte entwickelt werden, um die Information so nutzergerecht zur Verfügung zu stellen, dass sich die gewünschten Produktivitätsziele erreichen lassen. Als sinnvolle Hilfsmittel für einen derartigen Einsatz identifizierte das Projekt neben der klassischen Bildschirmanzeige auch Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR). Diese Technologien mussten für einen Einsatz in der maritimen Industrie angepasst und erweitert werden.

### 2.1 Generierung der Planungsdaten zur Technologieunterstützung

Das Projekt identifizierte die Informationsversorgung ist ein elementares Problem für die Ausführung von komplexen Tätigkeiten. Für diese war es erforderlich, alle notwendigen Informationen der entsprechenden Person am entsprechenden Ort zur richtigen Zeit zur Verfügung zu stellen. Prinzipiell lagen die benötigten Informationen für eine derartige kontextabhängige Informationsversorgung bei den Werften bereits vor, jedoch war der Zugang oft schwierig, zeitintensiv oder örtlich limitiert. Die Verwendung der Informationen durfte keinen hohen Aufwand darstellen, sondern musste von der entsprechenden Person einfach und intuitiv möglich sein. Um eine bedarfsgerechte Informationsversorgung zu erreichen, war es erforderlich, die Daten zusätzlich anzureichern, so dass ein Werker die Informationen zu den einzelnen Arbeitsschritten aufrufen kann.

Die bisherige Informationsversorgung vor Ort beschränkte sich meist auf ausgedruckte 2D-Zeichnungen, Excel-Listen oder Arbeitsanweisungen. Als Nachteil der Papierlösung wurde das schwierige Auffinden der gerade benötigten Information beobachtet. Insbesondere besitzen 2D-Zeichnungen eine hohe Informationsdichte, so dass es schwierig ist, die gerade benötigte Information zu finden. Dies schränkt die Übersichtlichkeit und die Möglichkeit ein, die Informationen situationsgerecht und personenabhängig zu reduzieren.

Ein im Schiffbau häufiges Szenario ist die Benutzung der gleichen Arbeitsunterlage durch unterschiedliche Personen, die aus ihr allerdings andere Informationen benötigen. Die eine Person möchte bspw. die komplette Verrohrung einer Sektion sehen, die andere nur eine bestimmte Ausrüstungskomponente. Die statische Abbildung erlaubt außerdem keine Änderung der Perspektive, so dass das Modell weder gedreht noch in der Größe skaliert werden



kann und somit das Ziel der Übergang zu einem dynamischen anpassbaren Informationsträger sein muss.

Um diese Mängel zu beseitigen, sollte ein Konzept zur aktivitätenspezifischen zeichnungs-freien Informationsversorgung erstellt und umgesetzt werden. Dies umfasst neben der Erstellung arbeitsvorgangsbezogener Informationen auch eine Markierungs-systematik zur vereinfachten Positionierung von Bauteilen.

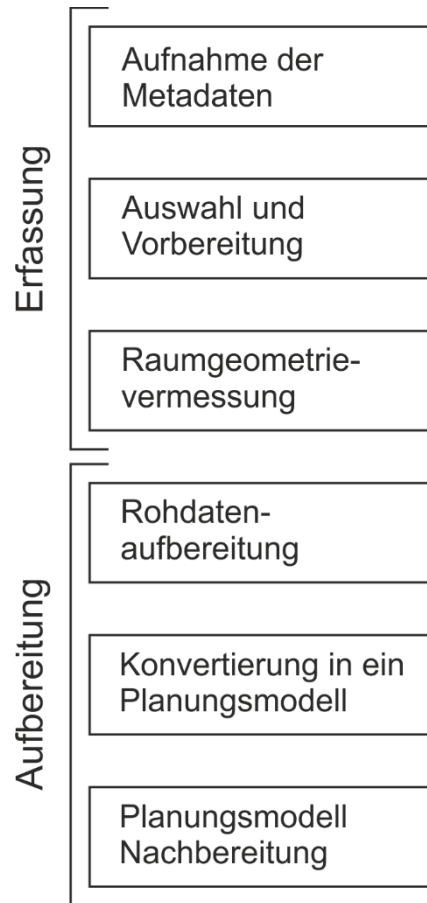
## **2.1.1 Verbesserung der Planungsqualität am Beispiel der Retrofit-Montage**

### **2.1.1.1/2 Entwicklung einer Planungssystematik**

Für ein erfolgreiches Retrofit-Projekt benötigt der Generalauftragnehmer ein Planungsmodell. Dieses Planungsmodell muss alle relevanten Informationen und Geometrien über das Schiff enthalten. In diesem Arbeitspaket wurde das Vorgehen für die Erstellung des anforderungsgerechten Planungsmodells beim Retrofit definiert. Das Vorgehen besteht aus zwei Phasen: Erfassung und Aufbereitung. Die Erfassung dient der Aufnahme der Daten. An dieser Stelle muss zwischen Geometrie und Metainformationen unterschieden werden. Die Aufbereitung integriert die Informationen anschließend in ein Planungsmodell.

Das Projekt stellte fest, dass die Erfassung der Meta- und Geometrieinformationen nicht parallel, sondern hintereinander erfolgen muss. Für ein Retrofit-Projekt ist in der Regel nur ein Planungsmodell eines bestimmten Ausschnitts des Schiffs erforderlich. Durch eine Planung der Aufnahmen anhand der Metadaten ist eine Eingrenzung des Betrachtungsraums möglich. Das reduziert den Aufwand und ermöglicht eine effiziente Erstellung des Planungsmodells.

Mehrere Schritte detaillieren die zwei Phasen Erfassung und Aufbereitung (Abbildung 30). Liegen Ergebnisse einzelner Schritte bereits vor, bspw. beim Kunden vorhandenes 3D-Modell, kann der Generalauftragnehmer diese direkt verwenden und die entsprechenden Schritte überspringen. Das Vorgehen ist dadurch dynamisch an die Rahmenbedingungen anpassbar.



**Abbildung 30: Erfassung und Aufbereitung der Ist-Geometrie**

Die Aufnahme der Metadaten dient dem Generalauftragnehmer alle beim Kunden vorliegenden und für das Projekt relevanten Informationen zu erfassen. Dafür wurde ein Fragebogen entwickelt. Dieser besteht aus vier Modulen:

- Instruktion
- Basisbereich
- Erweiterte Informationen
- Abschluss

Die Instruktion erläutert dem Kunden den Aufbau des Fragebogens. Der Basisbereich fragt die wichtigsten und notwendigen Informationen auf einer Seite ab. Die erweiterten Informationen sollen zusätzliche Informationen aufnehmen und dadurch den Generalauftragnehmer bei der Projektbearbeitung unterstützen. Der Abschluss beinhaltet Interessensfragen des Generalauftragnehmers und stellt freiwillige Angaben des Kunden zur Verbesserung dar. Abbildung 31 stellt den Basisbereich des im Projekt entwickelten Fragebogens exemplarisch dar.

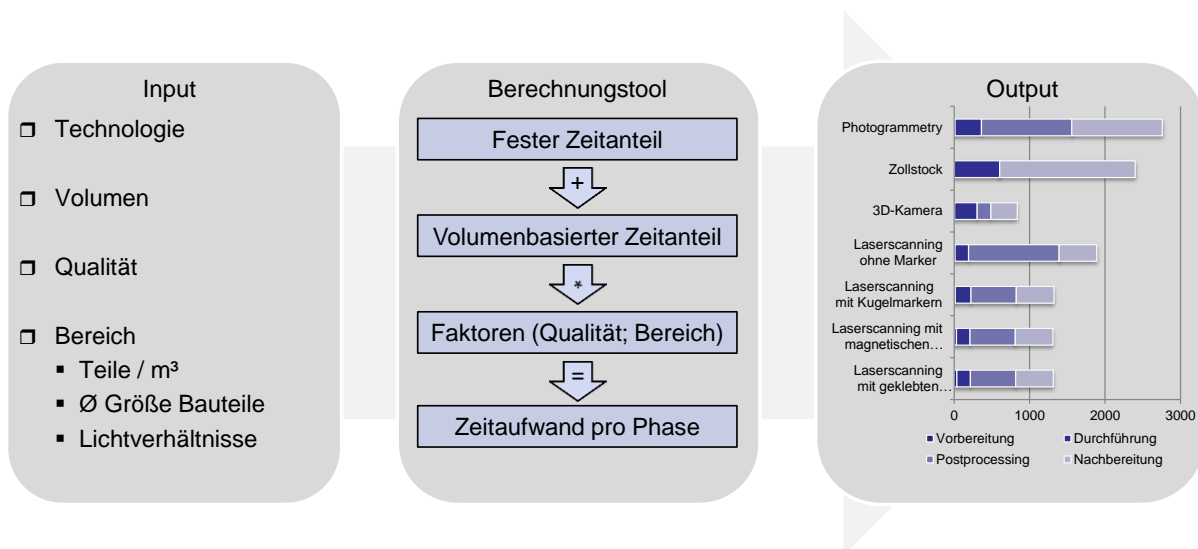
	
<h1>Auftragsinformationen</h1>	
<b>Kurz - Fragebogen</b>	
<b>Angaben zum Schiff</b>	
Schiffsname:	
Schiffstyp:	
IMO Nummer:	
Flagge des Landes:	
Klassifikationsgesellschaft:	
Schiffseinsatzgebiet / Route:	
Motorkennung der Haupt- und Hilfsmotoren	
<b>Angaben zum Interessenten</b>	
Auftraggeber:	<input type="checkbox"/> Charterer <span style="margin-left: 100px;"><input type="checkbox"/> Reeder</span>
Name:	
Anschrift:	
Kontaktperson:	
Telefon:	
Fax:	
E-Mail:	
<b>Auftragsgegenstand</b>	
<input type="checkbox"/> Motortausch	<input type="checkbox"/> Trocken-Scrubber Nachrüstung
<input type="checkbox"/> Partikelfilter Nachrüstung	<input type="checkbox"/> SCR Nachrüstung
Geplanter Zeitraum für die Maßnahme:	
Kommentar:	
Bitte beifügen, falls vorhanden:	
- bemaßte/unbemaßte Schnittzeichnungen für den Maschinenraum oder den Abgastrakt	
- 3D-Schiffsplanungsmodell	
- As-Build 3D-Modelle für den Maschinenraum und den Abgastrakt	
Bitte senden Sie den ausgefüllten Fragebogen an:	
per Post an:	Postanschrift der Kontaktperson bei MAN D&T
oder per E-Mail an:	E-Mail der Kontaktperson bei MAN D&T
oder per Fax an:	Faxnummer der Kontaktperson bei MAN D&T

Abbildung 31: Basisbereich Fragebogen

Die durch den Fragebogen aufgenommenen Metadaten fließen in die Auswahl und Vorbereitung der Geometrieaufnahme. Das Projekt hat als wichtigste Einflussfaktoren der Geometrieaufnahme die Technologie, die Qualität, das aufzunehmende Volumen und den relevanten Bereich identifiziert. Der Bereich beschreibt die aufzunehmende Umgebung. Verschiedene Untersuchungen in der Praxis haben gezeigt, dass in der maritimen Industrie eine Klassifizierung nach drei Faktoren sinnvoll ist:





- Dichte der Bauteile – wie viele Teile sind in einem definierten Volumen
- Durchschnittliche Größe der Bauteile – welches Volumen haben die Teile in der Umgebung
- Lichtverhältnisse – Kunstlicht, Sonne, etc.

Über diese drei Faktoren kann der Generalauftragnehmer oder der Vermessungsdienstleister die Bereiche klassifizieren. Ein Maschinenraum unterscheidet sich demnach von bspw. der Ladefläche oder einem Abgasschacht. Zusammen mit den anderen Einflussfaktoren kann der Generalauftragnehmer oder Vermessungsdienstleister die geeignete Technologie für die Vermessung auswählen und den benötigten Zeitaufwand bestimmen. Den Abschätzungen liegen Erfahrungswerte aus alten Projekte zugrunde. Abbildung 32 stellt die Systematik für die Berechnung des Aufnahmeaufwands und die Auswahl der geeigneten Technologie dar.



**Abbildung 32: Systematik zur Auswahl der Aufnahmetechnologie**

Auf dieser Basis kann der Vermesser oder der Generalauftragnehmer die geometrische Datengrundlage erzeugen. Anschließend erfolgt die Aufbereitung der Daten zu einem gemeinsamen Planungsmodell. Für eine systematische Integration der Meta- und Geometriedaten wurde ein Lastenheft entwickelt (Abbildung 33). Der Generalauftragnehmer definiert systematisch seine Anforderungen an die einzelnen Bereiche und legt damit den Grad der Integration fest.

Lastenheft 3D-Modelle						
Datenformat:	<input type="checkbox"/>	.stp		<input type="checkbox"/>	.jt	
	<input checked="" type="checkbox"/>	.dgn		<input type="checkbox"/>	.CATProduct	
	<input type="checkbox"/>	.dwg		<input type="checkbox"/>	.asm	
	<input type="checkbox"/>	Sonstiges:				
Fertigstellungsdatum:	10.04.2014					
Bereichseinteilung:	s. Anhänge					
Definition Bereiche (AOI):	3 Stufen			AOI Bereich I	AOI Bereich II	AOI Bereich III
	Farbcode					
	3D-Modell			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Decken			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Böden			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wände			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Träger			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Rohre		DN 50	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		kleinster Durchmesser		XXXmm	XXXmm	-
	kleinste Bauteilgröße			XXXm	XXXm	-
	elektrische Leitungen			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	spezielle Bauteile					
		Schaltschränke		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Leitern		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Geländer		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Plattformen		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		spezielles Rohrsystem		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Sicherheitsrelevanz		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Rohrhalterungen		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Kran		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	erforderliche Bauteilkomplexität					
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strukturbaum	<input checked="" type="checkbox"/>	Bauteilebene		<input type="checkbox"/>	Baugruppenebene	
Kommentare:	Modellstruktur nach Bauebenen aufbauen					

12894

Abbildung 33: Lastenheft für die Aufarbeitung des Planungsmodells

### **2.1.1.3 MDT: Entwicklung von Hilfsmitteln zur Abschätzung des Umrüstaufwands**

#### **2.1.1.4 Beschreibungssystematik für Varianten und für Vergleichsplanungen**

Der Generalauftragnehmer erstellt mehrere Lösungsvarianten für die vom Kunden angefragten Retrofitmaßnahmen. Dies geschieht direkt am Anfang des Projekts, um dem Kunden eine erste Idee der angefragten Lösung zu liefern, und anschließend im Engineering. Beim letzteren basieren die Lösungsalternativen auf dem vorher erstellten Planungsmodell und der Generalauftragnehmer kann diese nach festgelegten Kriterien bewerten. Für die Beschreibungssystematik wird insgesamt zwischen diesen beiden Stufen unterschieden: den skizzenhaften Varianten (Stufe 1) und den detaillierten Varianten (Stufe 2).

##### **Stufe 1**

Varianten in der Stufe 1 sind dafür da, die generelle Machbarkeit zu demonstrieren und erste grobe Probleme zu lösen. Soll bspw. ein Granulattank in das System Schiff integriert werden, diskutiert der Generalauftragnehmer an dieser Stelle gemeinsam mit dem Kunden eine mögliche Position. Diese Positionen bilden die einzelnen Varianten. Weitere Aspekte wie der Montagepfad werden in dieser Stufe nicht berücksichtigt. Der Vergleich und die Auswahl der Varianten erfolgt in gemeinsamer Diskussion mit dem Kunden. Evaluationen in der Praxis haben gezeigt, dass die entscheidenden Kriterien an dieser Stelle vom Kunden getrieben sind:

- Veränderungsgrad durch die Maßnahme (optisch)
- Veränderungsgrad durch die Maßnahme (technisch)
- Zugänglichkeiten
- Betriebskosten

An dieser Stelle im Prozess sind die neuen Komponenten in der Regel noch nicht final bekannt. Größe, Systemzusammensetzung und Anordnung sind variabel und können hier nicht als Kriterien für den Vergleich und die Dokumentation der Varianten verwendet werden.

##### **Stufe 2**

Die Varianten der Stufe 2 basieren auf einer vorausgegangenen detaillierten Planung. Der Generalauftragnehmer entwickelt diese Varianten auf Basis des vorliegenden Planungsmodells und definiert neben dem Verbauort, die genauen Komponenten, die Einbauausrichtung und den Einbaupfad. Die Komponenten passt der Generalauftragnehmer an die vorliegenden Rahmenbedingungen und Einsatzszenarios an. Varianten von unterschiedlichen Komponenten können vorkommen, das Projekt hat allerdings gezeigt, dass dies selten der Fall ist. Die wichtigsten Kategorien für den Vergleich von Varianten im Retrofit sind damit:

- Verbauort
- Einbauausrichtung

- Einbaupfad

Im Projekt hat die TUHH mit der MAN Diesel & Turbo SE und mehreren Reedereien die Bewertungskategorien weiter untersucht und detaillierte Bewertungskriterien für die Auswahl von Varianten für Retrofit-Szenarien entwickelt. Abbildung 34 stellt diese Bewertungskriterien dar. Für eine bessere Übersicht und eine einfachere Bewertung der Varianten wurden die Kriterien in übergeordnete Klassen einsortiert.

Bewertungskategorie	Bewertungsklasse	Bewertungskriterium
Verbauort	Bauraumeinsparung	Schwerpunktverlagerung
	Zugänglichkeit	Zugänglichkeit
	Bauraumeinsparung	Nutzlastveränderung
	Bauraumeinsparung	Optische Veränderung
	Ergonomie	Sicherheitsrisiken
Einbauausrichtung	Zugänglichkeit	Zugänglichkeit
	Ergonomie	Wartungsräume
	Bauraumeinsparung	Optische Veränderung
Einbaupfad	Kosten	Demontage alter Komponenten
	Kosten	Stützkonstruktionen
	Kosten	Montage neuer Komponenten
	Kosten	Transportstrecke im Schiff

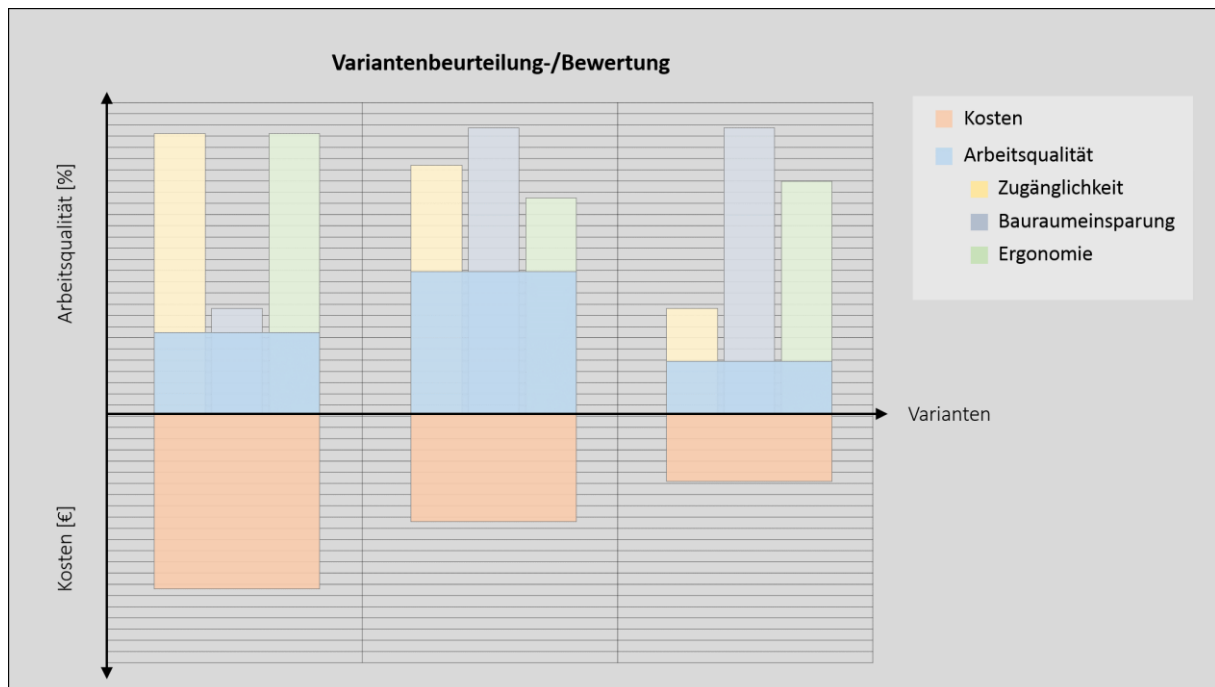
**Abbildung 34: Kriterien für die Auswahl der Varianten für Retrofit**

Für einen Vergleich der Varianten untersuchte die TUHH verschiedene Bewertungsmethoden (Abbildung 35). Im Projekt hat sich gezeigt, dass der Paarvergleich und die Pro-Contra-Methode nicht für das Problem geeignet sind. Die Bewertungsdiskussion ist bei der Komplexität und dem finanziellen Aufwand der Projekte notwendig, reicht für eine systematische Auswahl der Lösung jedoch nicht aus. Für die Bewertung wurde deshalb eine Kombination aus einer angepassten Nutzwertanalyse und der Bewertungsdiskussion gewählt.

Methoden	Anwendung
Pro-Contra-Methode	Auswahl aus mehreren Varianten mit unterschiedlichen Pro- und Kontra Argumenten (zunächst ohne der Aufstellung detaillierter Forderungen) <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pro-Contra-Bilanz</li> <li>▪ Brainstorming</li> </ul>
Bewertungsdiskussion	Bewertung und Diskussion unterschiedlicher Varianten <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bewertungshinweise zu den Varianten</li> <li>▪ Hinweise auf nicht berücksichtigte Aspekte</li> <li>▪ Unterschiede und Übereinstimmungen in der Auffassung bzgl. Varianten</li> </ul>
Paarvergleich	Auswahl aus mehreren Varianten mit festen Anforderungen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfache Überarbeitung bei neuen hinzukommenden Varianten.</li> </ul>
Nutzwertanalyse	Auswahl aus mehreren Varianten (marginale Unterschiede) mit einer hohen Anzahl an detaillierten Forderungen/ Einflussparameter <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hohe Transparenz der Ergebnisse</li> </ul>

**Abbildung 35: Bewertungsmethoden zum Vergleich verschiedener Retrofit-Varianten**

Zunächst bewertet der Generalauftragnehmer die entwickelten Varianten mit der Nutzwertanalyse (Abbildung 36). Er bewertet dabei die Bewertungsklassen (Zugänglichkeit, Bau- raumeinsparung, Ergonomie und Kosten). Anschließend fasst er die ersten drei Kategorien zu der Arbeitsqualität zusammen und stellt die den Kosten gegenüber. Dieses Ergebnis muss der Generalauftragnehmer mit dem Kunden diskutieren.



**Abbildung 36: Nutzwertanalyse für die Bewertung von Retrofit-Varianten**



**2.1.1.5 MDT: Methodik für die Variantenplanung im Retrofit**

**2.1.1.6/7 Ableitung von Demontageinformationen und Integration in ViP-Composer**

Die zu demontierenden Komponenten wurden im Projekt von der TUHH gemeinsam mit der MAN Diesel und Turbo SE und weiteren relevanten Partnern untersucht. Die für eine Demontage üblicherweise anfallenden Aufgaben wurden zusammengetragen und nach Klassen gruppiert. Diese unterscheiden sich nach den unterschiedlichen Systemen (Maschinenbau, Rohrleitungsbau, Elektro, Isolierung). Abbildung 37 stellt exemplarisch die Demontageoperationen dar.

<b>A. Demontage Maschinenbau</b>	
01.	Ausbau vorh. Behälter
02.	Ausbau Stahlbau
03.	Loch brennen
04.	...
<b>B. Demontage Rohrleitungsbau</b>	
01.	Abbau vorh. Rohrleitungen
02.	Abbau vorh. Rohhalterungen
03.	...
<b>C. Demontage Elektro</b>	
01.	Abbau vorh. Kabelschächte
02.	Abbau vorh. Kabeltrassen
03.	...
<b>D. Demontage Isolierung</b>	
01.	Abbau Isolierungsbleche
02.	Abbau Isolierungsmatten
03.	Abbau Isolierungshalter
04.	...
<b>E. Transport</b>	
01.	Stahlbleche
02.	Rohre
03.	...

**Abbildung 37: Demontageoperationen beim Retrofit**

Den einzelnen Demontageschritten wurden Aufwände zugeordnet. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurden die Aufwände normiert. Der Aufwand für den Abbau von Rohrleitungen bspw. bezieht sich auf einen Rohrmeter.

Im nächsten Schritt hat die TUHH diese Demontageinformationen in das an der TUHH entwickelte Werkzeug für Montageplanung, den Virtual Production Composer (ViP-Composer) integriert und die Aufwände hinterlegt. Selektiert ein Generalauftragnehmer bspw. ein Rohr und wählt in dem ViP-Composer „Demontage“ aus, so berechnet das Werkzeug anhand der vorhandenen Geometrie den dafür benötigten Aufwand. Der Generalauftragnehmer hat

dadurch die Möglichkeit, alle Demontageoperationen mit dem Werkzeug zu kennzeichnen und anschließend den Workload grob abzuschätzen.

Für nicht standardisierte Demontagetätigkeiten wurde ein Template entwickelt. Dieses besteht aus dem Aufwand die Komponente zu demontieren und der logistischen Tätigkeiten. Durch diese beiden Bausteine lassen sich Tätigkeiten vollständig beschreiben. Ist für die Demontage eine solche nicht standardisierte Tätigkeit notwendig, kann sie in einzelne Tätigkeiten zerlegt werden. Wird bspw. ein Loch in der Wand oder ein zusätzliches Gerüst für die Durchführung der Tätigkeit benötigt, kann der Generalauftragnehmer diese aus dem entwickelten Standardkatalog entnehmen und integrieren.

Die TUHH hat überprüft, in wie weit die standardisierten Demontageinformationen für zukünftige Projekte wiederverwendbar sind. Die Tätigkeiten wiederholen sich und sind für nachfolgende Projekte übertragbar. Lediglich der Aufwand variiert. Diesen kann der Generalauftragnehmer aus dem zu jedem Projekt erzeugten Leistungsverzeichnis entnehmen und für die Planung der Demontage mit dem ViP-Toolset verwenden. Weiterhin hat das Projekt festgestellt, dass viele Tätigkeiten immer in der gleichen Reihenfolge durchgeführt werden und eine Gruppierung zu Tätigkeitspaketen sinnvoll ist. Wird bspw. für die Demontage bestimmter Komponenten ein Loch in der Außenwand benötigt, so wird in der Regel ein Gerüst benötigt und danach wird erst das Loch gebrannt.

#### ***2.1.1.8 MDT: Methodik für die Montage-/Demontagesimulation der Bauteile beim Retrofit***

### **2.1.2 Konzept zur aktivitätenspezifischen zeichnungsfreien Informationsversorgung**

#### **2.1.2.1 Systematisierung arbeitsdurchführungsrelevanter Informationen (Aufbaureihenfolge, Materialbereitstellung, Orientierungshilfen)**

Verschiedene Methoden für die Aufnahme arbeitsdurchführungsrelevanter Informationen wurden untersucht. Die untersuchten Methoden umfassten das SIPOC-Diagramm (Supplier, Input, Output, Customer), das Spaghettidiagramm, das Flussdiagramm, das Sankey-Diagramm und die Wertstromanalyse.

Angelehnt an das SIPOC-Modell wurde eine Input-Output-Variante entwickelt. Der Supplier ist in diesem Modell der Informations-Sender. Die Inputs sind die Materialien und Teile, die am Anfang an die betrachtete Station geliefert werden. Die Outputs sind die entstehenden Bauteile. Der Customer die folgende Station oder das Teile abnehmende Lager. Der Prozess ist der Fertigungsprozess der Station mit einer genauen Spezifikation der genutzten und zur Verfügung stehenden Informationen.

Bei dieser Variante ist eine klare Struktur gegeben, wo die Informationen aufgenommen werden. Neben den Informationen werden jedoch auch diverse weitere Zustände und Prozesse aufgenommen, die von geringem Interesse für den Fluss der Informationen sind. Die Aufnahme und Darstellung sind sehr umfangreich, wodurch die Fokussierung auf die Infor-

mationsflüsse leidet. Daher wurde eine vereinfachte Version, die Baumdiagramm-Variante untersucht. Sie stellt die Informationen in einem Baumdiagramm dar. Das Diagramm beginnt mit dem Werker, zeigt die Informationsmedien und ihre Quellen. Diese werden in weiteren Ebenen des Diagramms genauer spezifiziert (Abbildung 38).

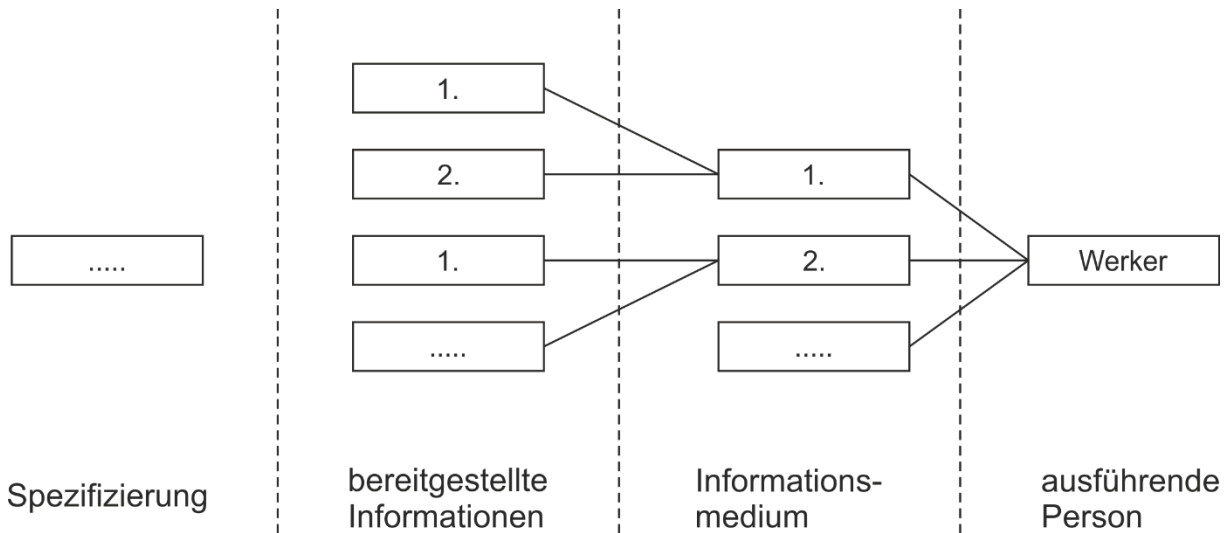


Abbildung 38: Baumdiagramm

Damit ein Informationsfluss genau dokumentiert wird, muss der Ort und Zeitpunkt des Flusses im Produktionsprozess bestimmt werden. Um die Informationen die an dieser Stelle fließen, genauer zu beschreiben dokumentiert das Vorgehen das Medium, das die Informationen trägt (Zeichnung, Liste, Bauteilbeschriftung) und beschreibt eine Spezifikation dieses Mediums (Schnitt, Stückliste, Kreide/ Druck). Dazu muss der Typ der Information (Abstand, Anzahl) erfasst werden und auch hier eine genauere Spezifikation (Abstand Mitte Schiff/Bauteile zu einander) erfolgen. Schließlich muss die Einheit der Information (mm) aufgenommen werden. Um diese Daten zu erfassen und zu dokumentieren, wurde folgendes Konzept entwickelt:

Im Mittelpunkt steht die Baumdiagramm-Variante. Mit ihr werden die Informationen, die zum Werker gelangen, detailliert dargestellt. Hierbei ist eine Verknüpfung und Gruppierung verschiedener Informationen möglich. Zum Abschluss entsteht ein übersichtliches Diagramm, das die Struktur der Informationsversorgung der Werker im Stahlbau aufzeigt. Unterstützend zur Baumdiagramm-Variante wurde für die Befragung der Arbeiter bei der FSG ein Fragebogen entwickelt. Der Fragebogen ist mit Datum und der Abteilung, in der die Befragung durchgeführt wird, versehen. Der auszufüllende Kopf des Fragebogens besteht aus den Punkten Gesprächspartner (hier ist die Position im Betrieb gemeint), Medium (in welcher Form kommt die Information in den Prozess) und Station (Einordnung in den Prozessablauf).

Der Hauptteil des Formblattes besteht aus folgenden drei Punkten:

- Welche Informationen: An diesem Punkt werden die Informationen präzisiert. Es wird notiert um welche Information es sich handelt (z.B.: Abstand, Anzahl), welche Einheit die Information hat und welchen Typ (ob es sich zum Beispiel bei Abständen um Abstände zwischen Bauteilen oder Abstände zu „Mitte Schiff“ handelt).
- Woher kommen die Informationen: Hier wird notiert, wer der Sender der Information ist, welchen Umfang diese haben (im Paket mit anderen, oder einzeln) und es wird die Spezifizierung des Mediums notiert (bei Zeichnungen zum Beispiel der Vermerk, ob sich um einen Schnitt oder eine Detailansicht handelt).
- Welche Informationen werden / werden nicht genutzt: Dieser Punkt verfolgt die Frage, ob überflüssige Zeichnungen oder anderer Mehraufwand betrieben wird, der im Fertigungsablauf nicht genutzt wird.

Das Formblatt schließt ab mit dem Punkt Notizen, an dem alles aufgenommen werden kann, was sich nicht in die ersten Punkte einordnen lässt und im Interview als zusätzliche Information aufkommt und von Wert für die Dokumentation ist.

#### ***2.1.2.2 FSG: Spezifikation von arbeitsdurchführungsrelevanten Informationen für Unikat-Montage***

#### ***2.1.2.3 MW: Spezifikation von arbeitsdurchführungsrelevanten Informationen für getaktete Montage***

#### **2.1.2.4 Entwicklung eines Datenvorbereitungsverfahrens**

Zunächst wurden die benötigten anzuzeigenden Informationen nach der Methodik aus AP 2.1.2.1 szenariospezifisch aufgenommen. Abbildung 39 stellt den Informationsfluss an den Werker eines Gewerks dar. Es wurden mehrere Informationskategorien ermittelt. Um später eine speichereffiziente Darstellung zu erreichen, hat die TUHH die Informationen in zwei Klassen unterteilt:

- szenarioübergreifend
- szenariospezifisch

Szenarioübergreifende Informationen sind nicht an einzelne Tätigkeiten gekoppelt. Das Projekt stellte fest, dass der Werker viele allgemeine Informationen wissen muss. Dies können bspw. generelle Richtlinien und Normen oder klassenabhängige Schweißstandards sein. In dem dargestellten Beispiel zählen der Unterlagen-Ordner, die TBVQ (Qualitätssicherung) und die Richtlinien zu Quellen szenarioübergreifender Informationen.

Szenariospezifische Informationen beschreiben eine separate Tätigkeit/Aufgabe. Diese Informationen ändern sich und der Werker braucht sie für jede Aufgabe neu. In dem dargestellten Beispiel zählen der Meister und DigiMAus als Quellen szenariospezifischer Informationen.

Die TUHH hat gemeinsam mit den Projektpartnern diese Informationen in der IT-Landschaft der Unternehmen lokalisiert. Weiterhin entwickelte die TUHH ein Konzept, um diese Informationen für eine weitere Verwendung in AR-Systemen bereitzustellen. Die Metainformationen werden über ein neutrales, textbasiertes Format bereitgestellt. Dafür hat sich im Projekt das CSV-Format bewehrt. Die Geometrieinformationen werden ebenfalls in ein neutrales Austauschformat konvertiert. Unterschiedliche CAD-Lösungen bei den Partnern bedingen verschiedene Lösungen. Das Projekt hat die Formate OBJ, IGES und JT als besonders geeignet identifiziert.



Abbildung 39: Informationsfluss an den Werker im Maschinenbau

### ***2.1.2.5 FSG: Adaption von Planungsdaten zur Vorbereitung aktivitätenspezifischer Information für die Unikat-Montage***

### ***2.1.2.6 MW: Adaption von Planungsdaten zur Vorbereitung aktivitätenspezifischer Information für die getaktete Montage***

### **2.1.2.7 Filterkonzept**

Die im vorangegangenen Forschungsprojekt POWER-VR entwickelten Filterkonzepte wurden erweitert. Dafür wurden die Metadaten aus AP 2.1.2.4 betrachtet. Die unterste Ebene, bspw. Nahtmaße, Lage der Teile, Objekt-Nummer, etc., übernahm die TUHH in die vorhandene Filtersystematik. Die vorher ausgewählten neutralen Datenformate zur Datenübertragung unterstützen das Vorgehen, indem sie die Metadaten immer in der gleichen Art und Weise bereitstellen. Die Filter wurden für diese Informationen angepasst. Der betrachtete Umfang der Filter passt sich dynamisch an die übergebenen Informationen an. Der Filter prüft zunächst, wie viele und welche Spalten in den Daten vorhanden sind. Anschließend lädt er die Kriterien ein und stellt diese als Filterkriterien dem Benutzer zur Verfügung.

Die Verknüpfung der Metadaten und der Geometriedaten erfolgt über den Bauteilbezeichner. Die Filtersystematik erlaubt dadurch eine getrennte Bearbeitung der Metadaten ohne die Geometriedaten zu verändern.

Das Projekt identifizierte den Arbeitsplan als Hauptinformationsquelle für den Werker. Für die aktivitätenspezifische Bereitstellung von Informationen definiert der Arbeitsplan die Eingangsgrößen für die Filtersystematik. Er beschreibt, welche Tätigkeiten der Werker wann durchführen muss. Der implementierte Filter greift diese Tätigkeiten auf und verknüpft sie über den Bauteilbezeichner mit den weiteren für die Tätigkeiten relevanten Metadaten.

### ***2.1.2.8 FSG: Werker- und aktivitätenspezifische Filterung von Information für die Unikat-Montage***

### ***2.1.2.9 MW: Werker- und aktivitätenspezifische Filterung von Information für die getaktete Montage***

### **2.1.2.10 Filterung und Aufbereitung von Lageinformationen**

Für einen produktiven Einbau von Komponenten in ein entstehendes Schiff identifizierte die TUHH gemeinsam mit den Partnern zwei relevante Ansätze für die Darstellung und Verarbeitung von Lageinformationen:

- die Mitarbeiterorientierung
- die Orientierung der Bauteile

Die Mitarbeiterorientierung dient als Navigation für den Mitarbeiter und leitet ihn über den vorliegenden Teil des Schiffes. Diese Navigation berücksichtigt den aktuellen Verbaustatus und berechnet die beste Route. Die aus Rückmeldedaten gewonnene Erkenntnis über die bereits eingebauten Teile wird in die Filtersystematik geladen. Die Filter reduzieren das komplette CAD-Modell auf den aktuellen Zustand. Ein Algorithmus zur Navigation verwendet das dadurch erzeugte Modell und berechnet den kürzesten Weg für den Mitarbeiter von seiner aktuellen Position bis zum Verbauort.

Für die Navigation der Mitarbeiter basierend auf dem aktuellen Verbaustatus, hat die TUHH ein Verfahren entwickelt. Dieses Verfahren setzt auf dem gefilterten Modell auf und erzeugt zunächst 2D-Ansichten der vorhandenen Struktur. Über verschiedene hinterlegte Logiken berechnet das Verfahren die vorliegenden Hindernisse und klassifiziert sie in überwindbare (Rohre) und unüberwindbare Hindernisse (Wände). Anhand dieser Informationen berechnet ein Algorithmus verschiedene Wege von der aktuellen Position des Werkers zu dem Verbauort und wertet diese anhand einer Kostenfunktion aus (vgl. AP 2.1.2.12/13). Dieses Verfahren ermöglicht mit Hilfe der Filtersystematik eine dynamisch wachsende Karte der Umgebung. Verbaut der Werker ein größeres System und behindert dadurch einzelne Wege, stellt es die Filtersystematik dem Algorithmus zur Verfügung und der Weg verändert sich.

Für die richtige Orientierung der Bauteile zur jeweiligen Sektion oder dem gesamten Schiff wurden die Koordinatensysteme an die benötigten Stellen transformiert. Diese Transformation ist in den Metadaten gespeichert. Das ermöglicht eine korrekte Verwendung der Daten in CAD und in den mobilen Systemen. Die zur jeweiligen Sektion gehörenden Bauteile wurden dafür aus dem ursprünglichen, auf das gesamte Schiff bezogene, Koordinatensystem so transformiert, dass die Position des Bauteils relativ zur heck-/backbordseitigen Ecke der Sektion bekannt ist.

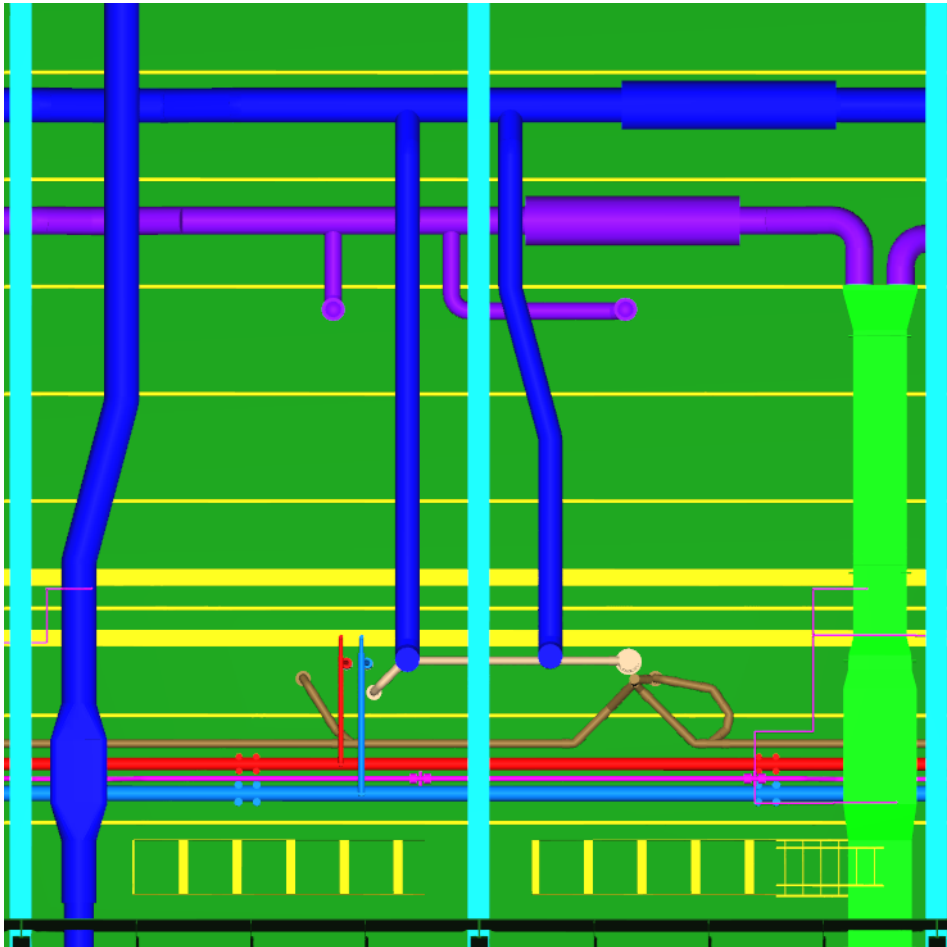
#### ***2.1.2.11 MW: Konzept zur weitgehenden Reduzierung des Ausrichtungsaufwands***

#### **2.1.2.12/13 Informationsbearbeitung für verbesserte Mitarbeiterorientierung mit VR**

Für die verbesserte Mitarbeiterorientierung wird ein Positioniersystem verwendet, dem ein bildgestütztes Verfahren zugrunde liegt. Das System detektiert und navigiert den Werker entsprechend seiner Position und der gegebenen Hindernisse. Für das Detektieren der Werkerposition wählte das Projekt Marker aus, die an den Helmen der Werker befestigt sind. Untersuchungen bei den Werften haben gezeigt, dass eine Detektion über andere Verfahren wie GPS in den Hallen nicht möglich ist. Zusätzlich haben die Werker Zugriff auf eine VR-Applikation, die auf mobilen Endgeräten installiert ist und dazu dient, sie an ihr Ziel zu führen.

Mit Hilfe eines 3D-Modells einer Sektion wird die Funktionsweise des Positioniersystems veranschaulicht. In dem 3D-Modell werden Bereiche mittels unterschiedlicher Farben gekennzeichnet.

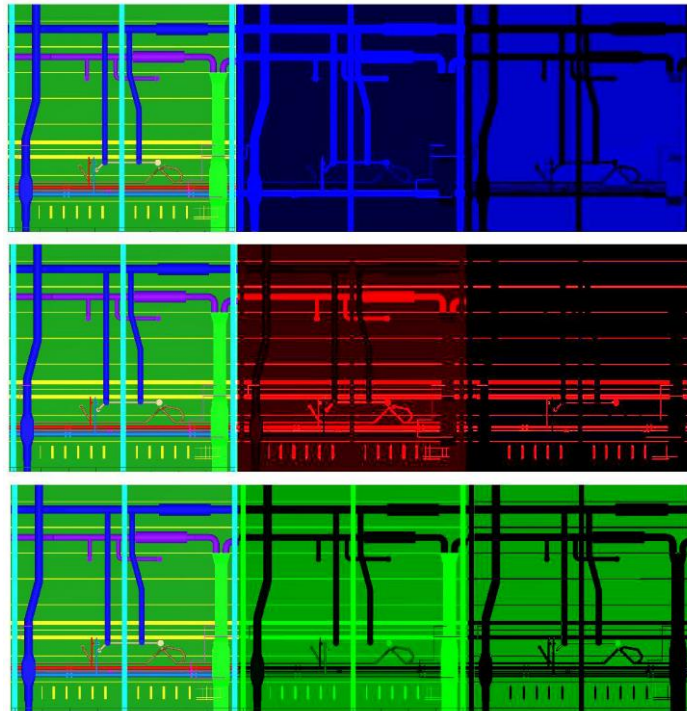
Für das Positioniersystem generiert ein automatisches Verfahren eine 2D-Ansicht der Sektion aus dem 3D-Modell. Die Farben geben nun Auskunft darüber, welche Bereiche begangen werden können und welche Bereiche Barrieren darstellen. Die unüberwindbare Wand ist in der 2D-Ansicht schwarz dargestellt (Abbildung 40).



**Abbildung 40: 2D-Ansicht eines Schiffausschnitts**

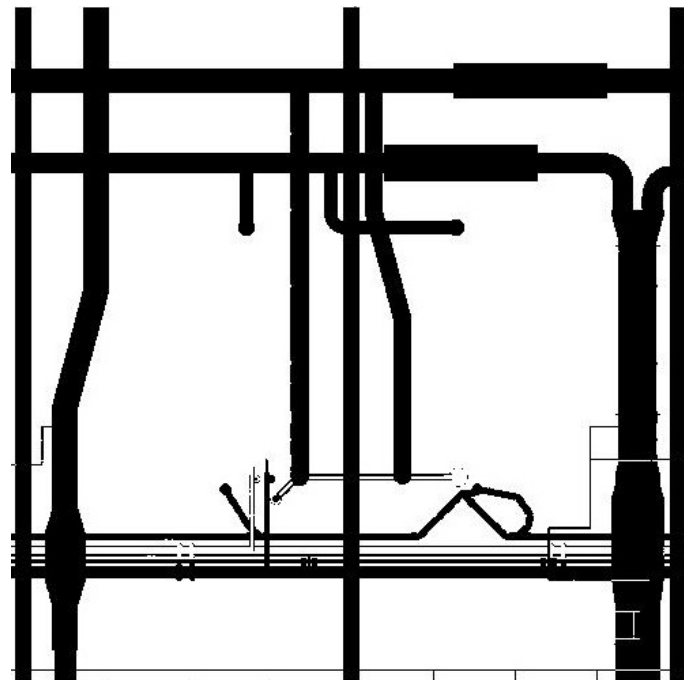
Eine Bildsegmentierung unterteilt das Modell in unterschiedliche Bereiche mit unterschiedlichen Funktionen. In diesem Fall nimmt sie eine farbbasierte Segmentierung vor. Ziel der Segmentierung ist es, zunächst zwei Hauptregionen zu unterscheiden: begehbare Bereiche und Hindernisse. Diese Bereiche werden anhand unterschiedlicher Farbgebung untersucht. Abbildung 41 zeigt eine solche farbbasierte Segmentierung des 2D-Modells.





**Abbildung 41: Farbliche Segmentierung eines Schiffausschnitts**

Durch die Anwendung weiterer Kriterien errechnet ein an die Problemstellung im Projekt angepasster Algorithmus eine Karte der Umgebung. Abbildung 42 stellt das Resultat vor.



**Abbildung 42: Hinderniskarte einer Schiffsumgebung**

Am Ende der Segmentierung gibt es hier nur noch zwei Arten von Pixeln. Die begehbaren Bereiche sind weiß und sämtliche Hindernisse sind schwarz dargestellt.

Das Projekt hat verschiedene Sektionen in der Praxis untersucht. Neben begehbaren Bereichen und Hindernissen sind unüberwindbare Hindernisse wie Wände oder andere Großkomponenten verbaut. In einem weiteren Schritt identifiziert das entwickelte System diese Hindernisse. Dafür benutzt es das Verfahren der Binarisierung. Hierzu wird das Modell in Grautöne konvertiert. In dem Ergebnis werden schwarze Bereiche dargestellt und nahezu alle grauen Bereiche eliminiert.

Anschließend fügt der Algorithmus die Ergebnisse der Bildsegmentierung und der Binarisierung zusammen und stellt eine vollständige Karte der Schiffsumgebung bereit. Abbildung 43 stellt eine solche Karte für eine Testumgebung dar. Die weißen Bereiche sind dabei begehbar, die schwarzen stellen Hindernisse dar und die roten stellen unüberwindbare Hindernisse dar.

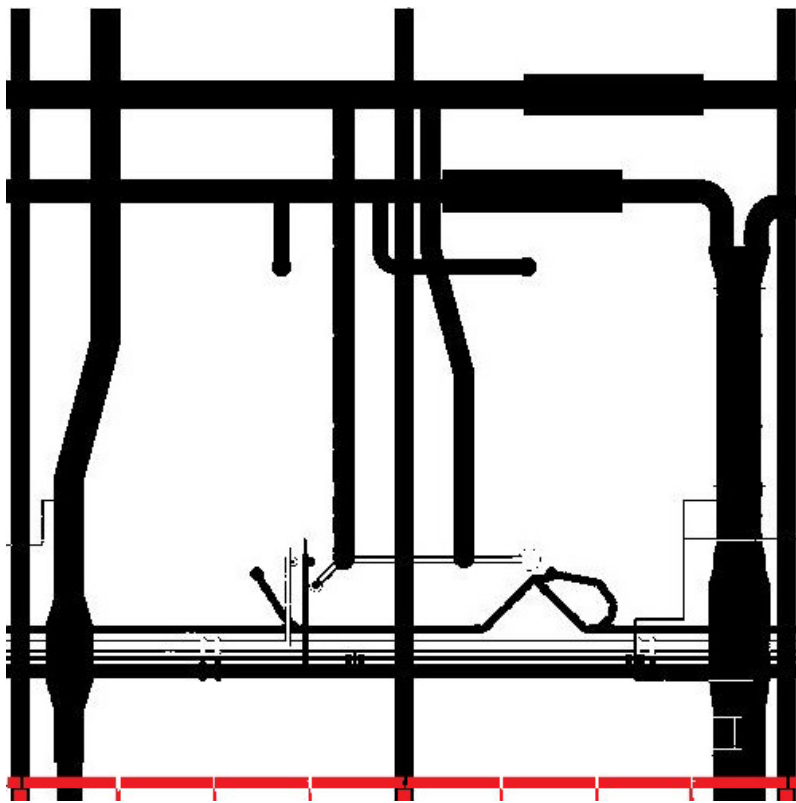


Abbildung 43: Vollständige Karte einer Schiffsumgebung

Der Algorithmus leitet aus diesem Modell eine Segmentationsmatrix ab, in der jedes Element genau ein Pixel darstellt. Um eine Navigation in Echtzeit zu ermöglichen, muss die Größe der Matrix möglichst gering sein. Dafür wird sie in  $k \times k$ -große Segmente unterteilt. Im Projekt haben sich Werte von  $5 \times 5$  Pixel für einen produktiven Einsatz bewährt. Befindet sich in einem  $kk$ -Segment ein roter oder schwarzer Pixel, wird das Segment rot beziehungsweise schwarz. Da rot in dem 2D-Modell die unüberwindbaren Hindernisse darstellt, hat Rot gegenüber Schwarz Vorrang. Die Matrix repräsentiert die Umgebung. Abbildung 44 stellt die finale Segmentierung der Schiffsumgebung dar.

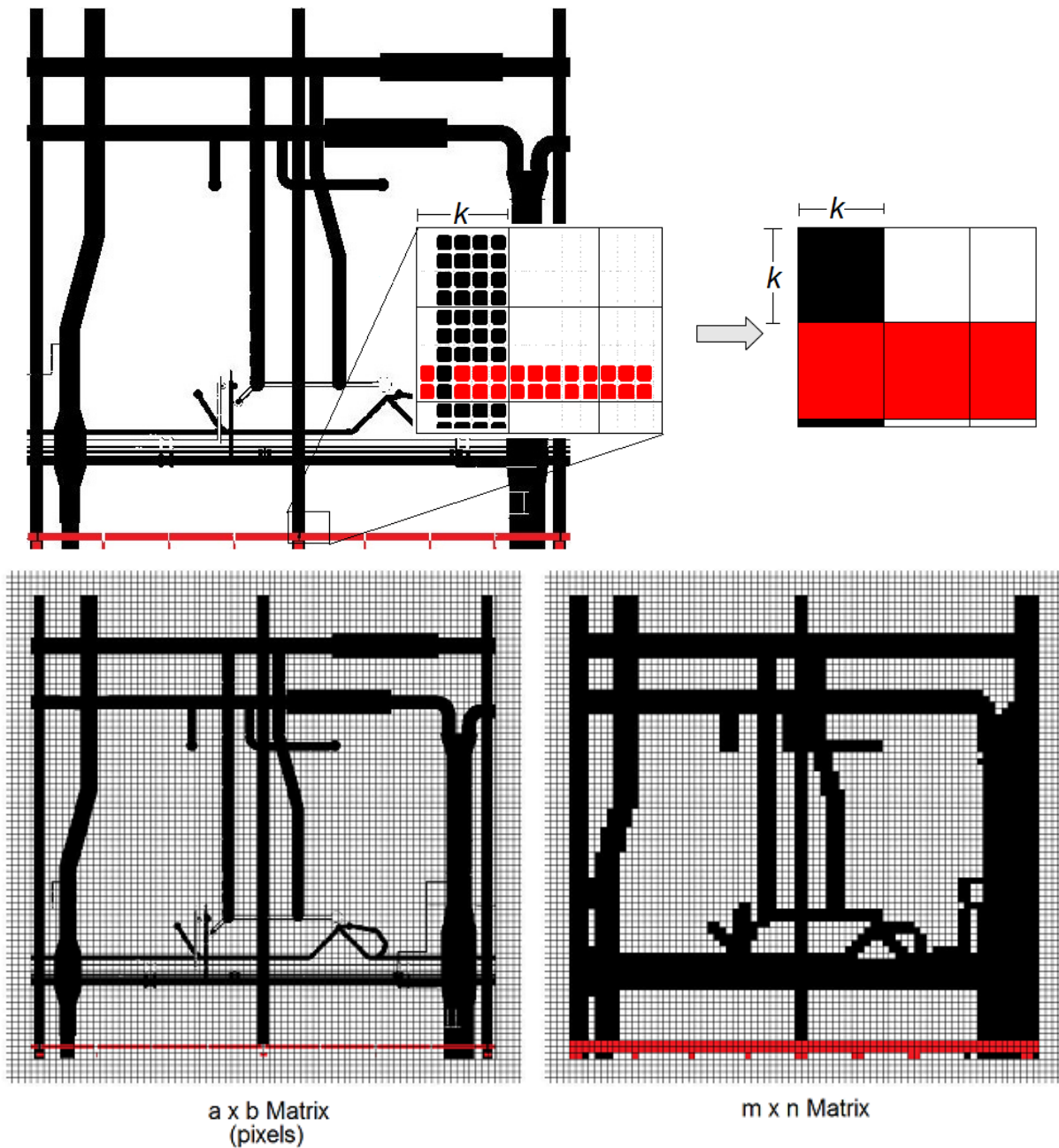
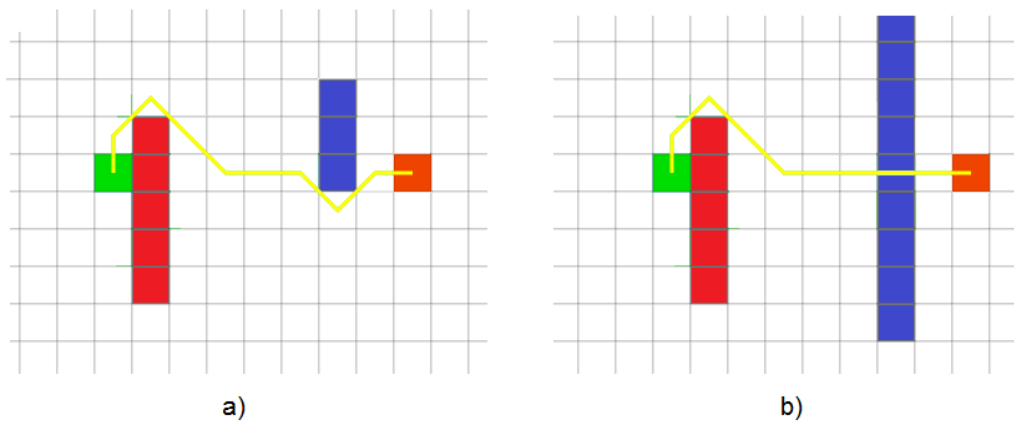


Abbildung 44: Finale Segmentierung der Schiffsumgebung

Die Matrix repräsentiert mögliche Standorte, die der Werker betreten kann. Mithilfe einer Kostenfunktion wird die Qualität unterschiedlicher Aufenthaltsorte definiert. Überwindbare Hindernisse wie Rohre und Stützen werden dem begehbaren Bereich gegenüber schlechter bezüglich ihrer Qualität als Aufenthaltsort bewertet. Ihnen werden höhere Kosten zugeordnet als den begehbaren Bereichen. Der kürzeste Weg eines Werkers hat somit minimale Kosten. Für die Berechnung des minimalen Weges wird der Dijkstra Algorithmus mit dem A\*-Algorithmus verglichen. Der Dijkstra-Algorithmus bezieht im Vergleich zum A\*-Algorithmus die gesamte Umgebung in die Berechnungen mit ein. Da die Position der Hindernisse aus der Segmentationsmatrix bekannt ist, wird der schnellere A\*-Algorithmus verwendet. In den folgenden Abbildungen sind zwei Szenarien dargestellt, welche mit dem A\*-Algorithmus ge-

löst wurden. Wände sind rot, überwindbare Hindernisse blau und die begehbaren Bereiche weiß dargestellt. In Szenario a) ist es im Gegensatz zu Szenario b) sinnvoller, das Hindernis zu umgehen.



**Abbildung 45: Zwei Beispiele für Mittels A\*-Algorithmus gefundene Pfade**

Die entwickelte Server-Client-Lösung wertet die Position des Werkers anhand des am Helm befestigten Markers aus und zeigt dem Werker die Route an, sobald dieser sich zu einem neuen Standort (neuer Rohrstrang, Lager, ...) begeben soll. Hierbei werden Route und Position in Echtzeit aktualisiert.

#### **2.1.2.14 FSG: Informationsbearbeitung mit CAD/Planungstools, Teil 1**

#### **2.1.2.15 FSG: Informationsbearbeitung mit CAD/Planungstools, Teil 2**

#### **2.1.2.16 MW: Informationsbearbeitung für getaktete Montage**

### **2.1.3 Erstellung taktbezogener Informationen**

#### **2.1.3.1 Entwicklung einer Constraintsystematik für Montageprozesse**


Die TUHH hat gemeinsam mit der Meyer Werft Abhängigkeiten für Montageprozesse in der getakteten Sektionsfertigung aufgenommen und systematisiert. Dafür hat die TUHH zunächst eine Methode entwickelt, diese Abhängigkeiten zu erfassen. Die Abhängigkeiten bestehen auf mehreren Ebenen: zeitlich, prozessbedingt, baubedingt. Diese Abhängigkeiten bilden mit der Verfügbarkeit einzelner Werkzeuge das Gesamtgerüst. Um die bei der Meyer Werft gegebenen Constraints vollständig zu erfassen, wurde ein Fragebogen erstellt (Abbildung 46 und Abbildung 47), der systematisch die Beziehungen zwischen Werkzeugen, Bauplätzen sowie Bauteilgruppen abfragt. Diese Constraints wurden erfasst und die TUHH hat daraus anschließend Anforderungen an den Testdatensatz abgeleitet.

## PROSPER - Einschränkungen bei der Montagereihenfolge in der Sektionsausrüstung

Bei der Festlegung von Prozessschritten für die getaktete Ausrüstung müssen Reihenfolgevorgaben berücksichtigt werden. Insbesondere sind Bauteilkollisionen oder knappe Ressourcen wie z.B. ein Deckenkran als restriktive Beziehung zwischen den Prozessen abzubilden. Ziel des Fragebogens ist, diese restriktiven Beziehungen in der Sektionsausrüstung zu erfassen. Dieser Fragebogen dient als Grundlage für eine Constraintsystematik für Montageprozesse, die in AP 2.1.3.1 entwickelt wird.

Gibt es Aktivitäten, die nur an bestimmten Stationen stattfinden können? (z. B., weil nur dort eine entsprechende Maschine vorhanden ist)		
Aktivität	Station	Grund
Gibt es Systeme, die <b>grundsätzlich nach</b> anderen Systemen verbaut werden müssen?		
System	nach System	Grund
Gibt es Aktivitäten, die <b>grundsätzlich nicht vor</b> einem bestimmten Zeitpunkt/Baustatus stattfinden dürfen? (z. B. durch Richtlinien)		
Aktivität	ab Zeitpunkt/Baustatus	Grund
Gibt es Aktivitäten, die <b>grundsätzlich nicht nach</b> einem bestimmten Zeitpunkt/Baustatus stattfinden dürfen? (z. B. durch Richtlinien)		
Aktivität	bis Zeitpunkt/Baustatus	Grund

Abbildung 46: Fragebogen zur Aufnahme der Abhängigkeiten in einer Fertigung (Teil 1)

		Seite 2
Gibt es Maschinen, die nur an bestimmten Stationen vorhanden sind? (z. B. Kran, Schweißgerät)		
Maschine	Station	
Welche Vorkommnisse führen zu einer Verlängerung der Taktzeit?		
Gibt es ergänzende Richtlinien / Regeln / Einschränkungen die bei der Taktplanung beachtet werden, aber noch nicht in den vorherigen Antworten beschrieben wurden?		
Gibt es Einschränkungen, die bei der Arbeitsverteilung auf den Stationen innerhalb der einzelnen Takte beachtet werden, die aber noch nicht in den vorherigen Antworten beschrieben wurden?		

**Abbildung 47: Fragebogen zur Aufnahme der Abhängigkeiten in einer Fertigung (Teil 2)**

Die erfassten Constraints lassen sich in zwei Standardarten aufteilen:

- werkzeugbezogen
- bauteilbezogen

Werkzeugbezogene Constraints definieren Aktivitäten, die aufgrund von an bestimmten Bauplätzen vorhandenen Maschinen oder Werkzeugen oder wegen geltender Vorschriften auf festgelegten Bauplätzen ausgeführt werden müssen. Aktivitäten müssen entweder vor, nach oder auf einem bestimmten Bauplatz stattfinden.

Bauteilbezogene Constraints definieren Reihenfolgebeziehungen der Bauteile/Bauteilgruppen untereinander. Ein Bauteil / eine Bauteilgruppe muss entweder vor oder nach einem anderen Bauteil / einer anderen Bauteilgruppe verbaut werden.

### **2.1.3.2 MW: Unterteilung der getakteten Ausrüstung in definierte Prozessschritte, Definition von Reihenfolgevorgaben**

#### **2.1.3.3 Methodenentwicklung zur Taktharmonisierung im Planungsumfeld**

Es wurde eine Systematik entwickelt, die Arbeitsinhalte in logische, kleinste Einheiten einteilt. Diese stellen den Verbau der Ausrüstungskomponenten pro laufenden Meter oder Stück dar. Für die Ausrüstung von Schiffssektionen sind die Kategorien:

- Rohr montieren
- Rohrhalter montieren
- Rohrarmaturen montieren

Die Ausrüstung der Schiffe besteht aus mehreren unterschiedlichen Systemen. Diese Systeme lassen sich in die drei Kategorien eingruppiert und stellen die Mehrheit aller verbauten Systeme dar. Alle anderen Systeme bestehen nur aus der Kategorie *montieren*. Ein Beispiel dafür ist die Isolierung. Sie benötigt keine Halter und Armaturen. Für eine Übersichtlichkeit schlägt die TUHH die Einführung von eindeutigen Bezeichnern vor mit der Systematik:

- X: System X montieren
- XH: Halter des System X montieren
- XA: Armaturen des System X montieren

Als kleinste Einheit für die Berechnung und Harmonisierung der Takte wurde der laufende Meter für das Montieren einzelner Bauteile und die Stückzahl für die Halter und Armaturen definiert. Diesen kleinsten Einheiten wurden Soll-Zeiten hinterlegt. Die Zeiten wurden in der realen Fertigung gemessen. Sie dienen als Basis und sind von der jeweiligen Arbeitsvorbereitung oder Planungsabteilung anpassbar.

Aus den Aufgaben und den hinterlegten Zeiten entstehen Bausteine. Die entwickelte Methodik erstellt aus einer Kombination der Bausteine Arbeitsaufträge bis der Arbeitsinhalt gleich der Zeit des vorgegebenen Taktes ist. Zusätzlich erstellt die Methodik die Reihenfolge der Sektionen unter Berücksichtigung der Ausrüstungsintensivität der einzelnen Sektionen.

Im Projekt hat die Meyer Werft eine praxisnahe Testumgebung für die Entwicklung und Evaluation der Verfahren im Forschungsprojekt PROSPER bereitgestellt. In dieser Testumgebung sollten verschiedene Ausrüstungssysteme verbaut werden. Dieser Testraum diente dazu, das entwickelte Vorgehen in einer praxisnahen Umgebung zu untersuchen. Abbildung 48 stellt exemplarisch den Taktplan der Testumgebung dar.

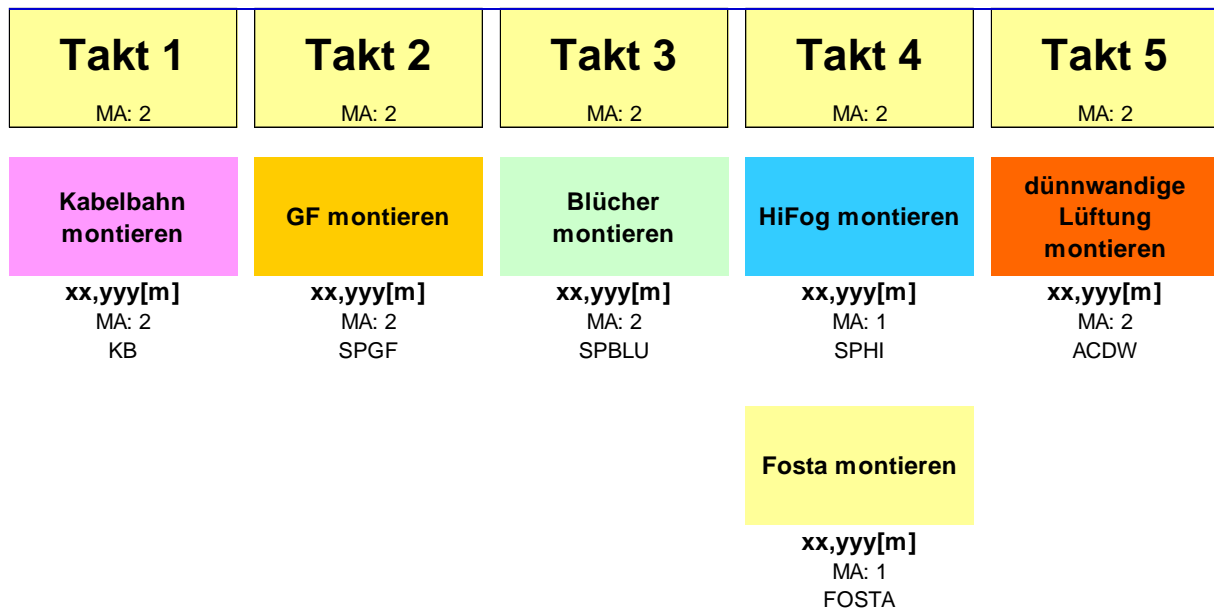


Abbildung 48: Taktplan Testraum

Die farblich gekennzeichneten Blöcke stellen die einzelnen Systeme dar. Diese sind auf die hier vorgegebene Anzahl der Takte verteilt. In jedem Takt arbeiten nach Plan zwei Mitarbeiter an der Ausrüstung der Testumgebung. Die Zahl xx,yyy[m] stellt den Arbeitsinhalt dar. Die hinterlegten Zeiten pro laufender Meter ermöglichen eine Kalkulation der benötigten Mitarbeiter.

#### 2.1.3.4 MW: Methode zur Taktung der Sektionsausrüstung

#### 2.1.3.5 Metadaten-Systematik und -Verarbeitung für Planungsinformationen

Jedes Bauteil besitzt einen definierten Bauteilbezeichner. Dieser Bezeichner identifiziert jedes Bauteil eindeutig und liefert weitere Informationen zu dem Bauteil wie das System oder die Lage im Schiff. Über den Bezeichner lassen sich Metadaten eines Bauteils eindeutig zuordnen. Die vorher generierten Taktpläne lassen sich dadurch in die Metadaten integrieren (Abbildung 49). Die dargestellten Metadaten bestehen aus mehreren relevanten Spalten:

- AEC-ID: die Kategorie des Systems (vgl. AP 2.1.3.3)
- AEC-ID Key: der eindeutige Bauteilbezeichner
- Größenangaben
- Bezeichnung: Detaillierte Kategorie des Systems
- Modellname: Zuordnung zu System und Schiffsposition
- Takt: Zuordnung zu einem Takt



Aec-Id	Mut	Aec-Id Key	Breite1	Hoehe	Länge	Durchmesser	Bezeichnung	ModellName	Takt
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ACDW01		PART-34648628	0	0	41	198	LBGE ISO	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 6
ACDW01		PART-34648636	0	0	0	198	UEGS 320-2-160	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 6
ACDW01		PART-34648637	0	0	0	198	UEGS 320-2-160	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 6
ACDW02		PART-34648604	300	140	1330	0	KSD SK	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 5
ACDW02		PART-34648629	350	170	160	0	SKR 14/13	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 5
ACDW02		PART-34648630	300	140	0	160	ES SK13-2-160 E	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 5
ACDW02		DUCT-34648652	300	140	330	0		0692 7 S -- 09 - 04 -- 0010 AC_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 5
FOSTA01		PI028-34648564	0	0	984	1000	SANFIX FOSTA-PE	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 4
FOSTA01		PI028-34648565	0	0	77	1000	SANFIX FOSTA-PE	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 4
FOSTA01		PI028-34648566	0	0	217	1000	SANFIX FOSTA-PE	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 4
FOSTA01		PI028-34648567	0	0	799	1000	SANFIX FOSTA-PE	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 4
SPBLU01		SP-0010-ST9006	0	0	0	0		0692 110 C 90 06 - --- 0001 ST	SA Takt 3
SPBLU01		SP-0010-ST9006	0	0	0	0		0692 110 C 90 06 - --- 0001 ST	SA Takt 3
SPBLU01		SP-0011-ST9006	0	0	0	0		0692 110 C 90 06 - --- 0001 ST	SA Takt 3
SPGF01		CO048-34648541	0	0	0	1000	HWS-MUFFE	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 2
SPGF01		CO048-34648542	0	0	0	1000	HWS-MUFFE	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 2
SPGF01		PI027-34648556	0	0	400	1000	INSTAFLEX-ROHR	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 2
SPGF01		PI027-34648557	0	0	2900	1000	INSTAFLEX-ROHR	0692 7 S -- 09 - 04 -- 0001 KO_TESTSEKTION_PROSPER 9006 SE	SA Takt 2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 49: Metadaten der Testumgebung inkl. Taktplan

Die dargestellten Metadaten sind gekürzt dargestellt. Weitere Spalten sind für den Takt jedoch nicht relevant und daher nicht an dieser Stelle ausgeführt. Diese Metadaten liegen in einem neutralen Format vor (\*.csv). Die weiterentwickelten Filter können auf diese Daten zugreifen und nach einzelnen Spalten filtern. Abbildung 50 stellt das Ergebnis in dem im Projekt umgesetzten AR-System dar.



Abbildung 50: Umgesetzter Taktplan

### 2.1.3.6 MW: Ableitung benötigter Metadaten pro Takt

### 2.1.4 Markierungssystematik zur vereinfachten Positionierung von Bauteilen

### 2.1.4.1 Screening Markierungssysteme, Durchsatz

Im Screening der Markierungssysteme wurden zunächst einige Markiertechniken betrachtet, um abschließend bei einer Technik genauer auf unterschiedliche Anwendungen einzugehen.

Bei den verschiedenen Markiertechniken wird das Hauptaugenmerk auf Techniken gelegt, die vorrangig in der Stahlindustrie Anwendung finden. Die Einprägeverfahren treten als Nadelmarkieren, Ritzmarkieren oder Prägen auf. Bei allen Alternativen erfolgt die Markierung durch Eindringen in die Oberfläche des zu markierenden Werkstücks. Die Laserverfahren bieten die Möglichkeit, eine Markierung einzubringen, indem entweder bei lackierten Bauteilen obere Schichten abgelöst werden, um andersfarbige Schichten frei zu geben, die Farbe von Anlassfarben durch die Zuführung von Hitze lokal verändert wird, oder beim Lasergravieren wie bei den Einprägeverfahren ein Teil der Materialoberfläche abgetragen wird um die Markierung zu setzen. Bei den Etikettierverfahren wird ein alternatives Trägermedium (das in der Regel bedruckt wurde) auf die zu markierenden Teile aufgebracht. Bei dem im Schiffbau sehr verbreiteten Pulvermarkieren wird ein Zinkpulver auf die Metallteile aufgeschmolzen, dieses Verfahren kann mit denen zum Zuschneiden verwendeten Plasma- oder Autogenbrennern kombiniert werden. Abschließend sind die Druckverfahren zu nennen, bei denen mit Hilfe von Tinte oder anderer Substanzen das Bild auf die Bauteile (berührungslos) aufgebracht wird. Im Folgenden werden verschiedene Drucksysteme betrachtet.

Zuerst wird das DOD-Prinzip (Drop-on-Demand), das auf Abbildung 51 dargestellt ist, beschrieben. Hierbei wird ein Tintenbehälter (Inkreservoir) unter Druck gesetzt, die Tinte gelangt über einen Schlauch zum Druckkopf und wird dort auf mehrere Düsen (7 bis 15 Stück) gepresst. Die Düsen können über eine Steuerung einzeln geöffnet werden. Durch diese gesteuerte Öffnung und der Relativbewegung zwischen Druckkopf und zu bedruckendes Teil wird das Schriftbild erzeugt.

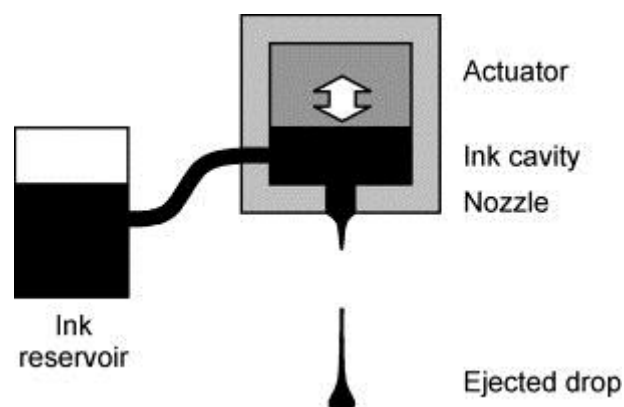


Abbildung 51: DOD-Prinzip

Das zweite Verfahren ist das Continuous-Jet-Verfahren (siehe Abbildung 52). In diesem Verfahren wird die Tinte vom Tintenbehälter mit einer Hochdruckpumpe zur Düse transportiert. Durch ein Piezoelement werden in einem konstanten Strahl Tintentropfen aus einer Düse mit hoher Geschwindigkeit abgegeben. Die zum Schreiben verwendeten Tintentropfen wer-

den mit einer genau definierten elektrischen Ladung geladen. Diese geladenen Tropfen werden in dem nachgeschalteten elektrischen Feld proportional zu ihrer Ladung abgelenkt und somit auf die für sie bestimmte Flugbahn gebracht, um anschließend auf zu bedruckenden Teil das Schriftbild zu erzeugen. Die nicht benötigte Tinte wird gefiltert und gelangt durch die Tintenrückführung zurück in den Tintenbehälter.

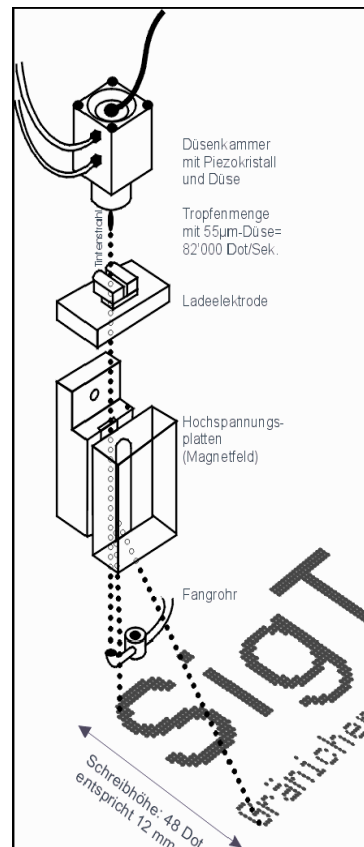


Abbildung 52: Continuous-Jet-Verfahren

Wenn die Produktivitätssteigerung durch aufgebrachte Informationen betrachtet wird, muss auch der begrenzte Durchsatz der bisher beschriebenen Markierungssysteme mit einbezogen werden. Denn unter der Voraussetzung, möglichst viele Bauteile mit Markierungen zu versehen, stellen die begrenzten Kapazitäten der Markier- und Brennmaschinen im Produktionsablauf einen potenziellen Engpass dar. Gleichzeitig ist eine möglichst hohe Auslastung der Maschinen erwünscht, um verschwendete Produktivitätskapazität durch Leerlauf zu vermeiden. Eine Optimierung der Bauteilreihenfolge spielt eine wichtige Rolle, ist im Produktionsprozess (gerade wenn dieser als Fließprozess organisiert ist) nicht unbedingt umsetzbar.

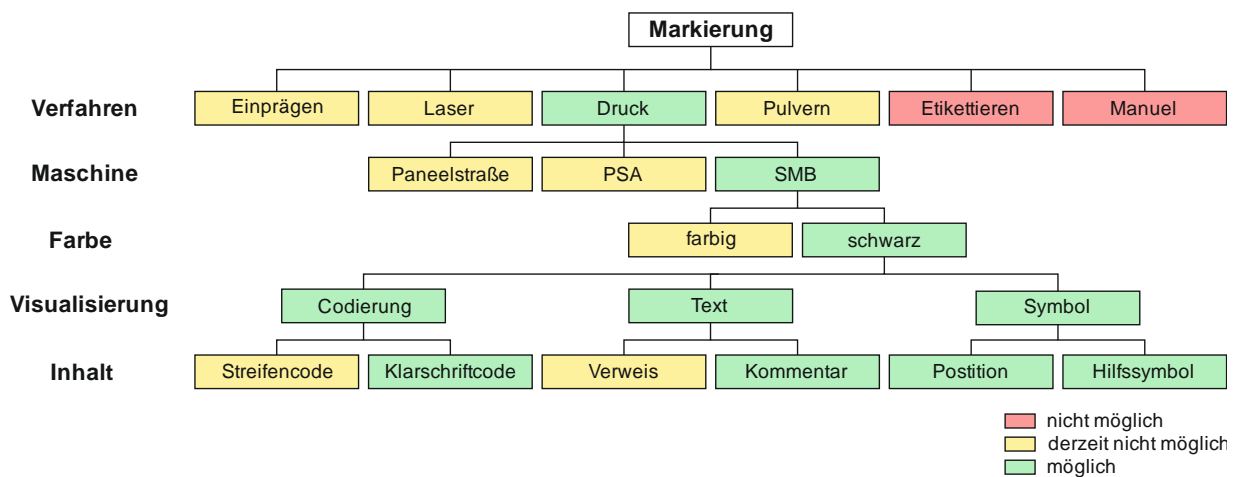
#### 2.1.4.2 FSG: Aufnahme Ist-Prozess, Varianten Idealprozess, Auswahl

#### 2.1.4.3 Kennzeichnungssystematik, Elemente, Informationsumfang

Um eine Kennzeichnungssystematik zu entwickeln und ihren Informationsumfang zu bestimmen, muss zu Beginn eine Auswahl geeigneter Elemente erfolgen, deren Montage durch

aufgedruckte Kennzeichnungen unterstützt wird. Dafür werden Kriterien definiert, anhand derer Teile ausgewählt werden, für die eine Kennzeichnungssystematik erstellt wird. Für die Auswahl werden folgende Kriterien betrachtet: Die Anzahl der verbauten Teile eines Bauteiltyps sollte sehr groß sein, dazu kein (oder nur ein sehr geringes) Auftreten von Sonderfällen. Der Umfang der notwendigen Informationen soll nicht zu umfangreich sein (sie sollten möglichst prägnant dargestellt werden können) und die Markierung muss einen Nutzen haben (eine Produktivitätssteigerung, oder die Fehlerzahl beim Einbau wird reduziert). Des Weiteren muss die Konstruktion der Elemente vor Brennbeginn bereits abgeschlossen sein und nach Brennbeginn darf keine Änderung am Bauteil mehr erfolgen.

Die Visualisierung der Markierungen ist auf mehrere Arten möglich. Die zurzeit gängige Praxis, Markierungen manuell aufzutragen, scheidet aus, da diese im Rahmen des Forschungsprojektes durch maschinelle, in einem bestimmten System strukturierte Markierungen ersetzt werden. Die Technik, die zum Aufbringen der Markierungen verwendet wird, ist das Tintendruckverfahren, da es bereits in der Werft vorhanden ist. In dem Fall, dass andere Technologien nachgerüstet werden, kann die Betrachtung der möglichen Visualisierungen erweitert werden. Weitere Auswahlkriterien sind, dass die Markierungen ohne Hilfe (technische Auslesegeräte, Tabellen, Leitfäden) vom Werker auszulesen sind, sie sich also auf werftübliche Bezeichnungen und Codierungen beschränken. Abbildung 53 zeigt die derzeitige Auswahl, alle abgebrochenen Verzweigungen, die nicht mit einem roten (ausgeschlossenen) Kriterium beendet sind, können in Zukunft erweitert werden.



**Abbildung 53: Auswahl von Verzweigungen**

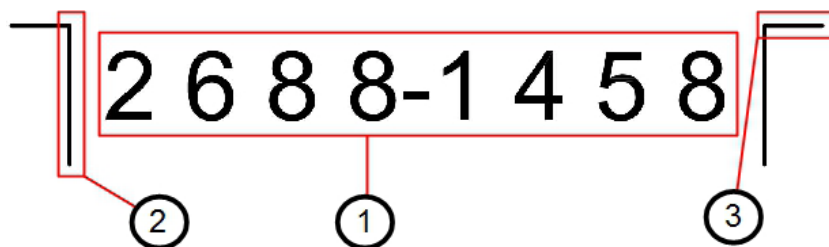
Zu Beginn des Arbeitspaketes wurde bereits erwähnt, dass die für Markierungen ausgewählten Bauteile in hoher Anzahl und mit geringer Variation verbaut werden sollen. Hier beispielhaft betrachtete Bauteile, auf die diese Anforderungen zutreffen, sind Leitern und Leiterhalter, für die im Folgenden mögliche Markierungen vorgestellt werden.

Es existieren zwei Typen von Leiterbefestigungen: der erste ist eine Verbindung aus Flachstahl zwischen den Leiterholmen und der Tankwand, der verwendete Flachstahl ist gleich dem Flachstahl der Leiterholme und wird direkt auf die Tankwand aufgeschweißt. Bei dem

zweiten Typen wird die Verbindung nicht direkt auf die Wand, sondern auf an der Wand entlang laufende Steifen aufgeschweißt. Hier ist der Abstand zur Wand so groß, dass in der Regel die Halterungen durch Querverbindungen ausgesteift werden müssen (auch die erste Verbindung muss ab einem bestimmten Wandabstand ausgesteift werden).

Für mögliche Markierungen bedeutet das, dass bei Typ 1 direkt Aufsetzpunkte auf die Tankwand aufgebracht werden können. Bei Typ 2 muss die Markierung erweitert werden, da die Leiter nicht direkt auf die markierte Stelle montiert wird. Im Folgenden werden drei Markierungstypen vorgestellt und ihre Unterschiede beschrieben.


Auf Abbildung 54 sieht man eine Markierung für eine normale Leiter (Typ 1). Sie beinhaltet die Bauteilnummer der zu montierenden Leiter (1) und Positionsmarkierungen. Die Positionsmarkierungen bestehen aus den vertikalen Linien als Position der Leiterholme (2). Die Länge der aufgetragenen Linien entspricht der Breite der als Leiterholme verbauten Flacheisen. Am Ende dieser Linien sind horizontale Linien aufgedruckt (3), die mehrere Funktionen haben. Zum einen zeigen sie die Schlagrichtung der Profildicken nach außen an und geben die Steigung der Leiter an.



**Abbildung 54: Markierung für Standard-Leiter (inklusive Bezeichnung der Bestandteile)**

Im Beispiel zeigt die Steigrichtung der Leiter nach unten. Dadurch, dass die Linie länger ist, als das die Breite des verbauten Profils, dient sie nach dem Einbau zusätzlich als Kontrollreferenz.

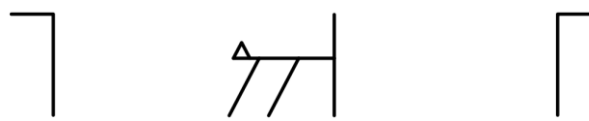
Eine Markierung vom Typ 2 (für die zweite Leitervariante) ist äquivalent zu dem ersten Typ aufgebaut, wird aber durch zusätzliche Informationen ergänzt. Obwohl das Bauteil nicht direkt auf die Markierung aufgesetzt wird, bleibt diese bestehen, um die Orientierung des Bauteils zu zeigen. Des Weiteren besteht somit der Vorteil, dass in den CAD-Modellen die gleichen Schablonen wie für die anderen Markierungen verwendet werden können. Um die Informationen für den besonderen Einbau zu visualisieren, bestehen verschiedene Möglichkeiten. Zum einen kann die Information wie in Abbildung 55 dargestellt in Textform die Markierung erweitern. Durch den Text kann auch ohne Vorwissen die Markierung verstanden werden. Für eine Fertigung mit verschiedensprachigen Werkern fällt dieser Vorteil der Textmarkierung jedoch wieder weg.

  
**auf Steife aufgesetzt**  
**Wandabstand 50 mm**

**Abbildung 55: Markierung Typ 2 mit Textkommentar**

Um auf den Textkommentar zu verzichten, wird ein Symbol eingeführt, das den Informationsgehalt des Textes übermittelt. Die Markierung inklusive Symbol ist auf Abbildung 56 zu sehen. Das Symbol ist die Seitenansicht der Leiter in ihrer Einbauposition. Wand und Profil sind an der Stelle der Halterung geschnitten und der Fuß der Halterung wird an das Profil angeschlossen gezeigt. Die zusätzliche Maßangabe ist der Abstand der Halterung von der Wand.

Die Bezeichnung durch ein Symbol soll sowohl für den Anschluss eines 45°-Fußes (wie in Abbildung 56 dargestellt) gelten als auch für andere mögliche Bauarten, wie beim Anschluss des Leiterendes an einer Deckensteife.

  
**2 6 8 8 - 1 4 5 8**  
**5 0 mm**

**Abbildung 56: Markierung Typ 2 mit Symbol**

Sowohl die Markierung in Textform als auch die Symbole zur Erklärung werden als für die Fertigung geeignet eingeschätzt. Welche Markierung sich am besten für den Einsatz eignet, wird anschließend in praktischen Versuchen ermittelt.

**2.1.4.4 FSG: Kennzeichnungssystematik für Brennmaschinen**

**2.1.4.5 FSG: Konzept zur Übergabe der Stoßkanten an Brennmaschinen**

**2.1.4.6 FSG: Entwicklung Software-Prototyp**

## 2.2 Gesamtdatenmodell

Für den Retrofit-Prozess eines Schiffs ist eine detaillierte Datenbasis notwendig. Diese liegt in den meisten Fällen nicht vor, gerade wenn bereits Umbaumaßnahmen an dem Schiff durchgeführt wurden oder die Eigentümer gewechselt haben. In den folgenden Abschnitten wird der Weg für die Erzeugung und Bereitstellung dieser Datenbasis aufgezeigt.

### 2.2.1 Erzeugung der Planungsdatenbasis für die Retrofit-Montage

Zur Aufnahme der vorliegenden Situation auf einem Schiff und zur Erfassung der notwendigen Daten für die Planung eines Retrofits existieren in der Regel nur begrenzte Zeitfenster von einigen Stunden (in denen die Schiffe zum Be- und Entladen oder für geringfügige Reparaturen im Hafen liegen). Diese Zeitfenster müssen effektiv genutzt werden. Um dies zu erreichen, werden für die Erfassung der Planungsdatenbasis zunächst die relevanten Daten ermittelt und anschließend eine Methode zur Aufnahme entwickelt.

#### 2.2.1.1 Methodenbaukasten zur Ist-Datenbereitstellung, Teil 1

Zu Beginn wurde eine Systematik entwickelt, die das Schiff anhand vorgegebener Kriterien in verschiedene Bereiche (AOI, Areas of Interest) unterteilt. Dies hilft, den Aufwand der Aufnahme an die Komplexität der Situation anzupassen und keine unnötigen Arbeiten durchzuführen.

Diese Bereichseinteilung wurde in Zusammenarbeit mit MAN Diesel & Turbo SE an mehreren Schiffen entwickelt und anschließend evaluiert. Darauf aufbauend wurden Anforderungen an die benötigten Ist-Daten und die daraus entstehenden 3D-Planungsdaten abgeleitet.

Als Ergebnis liegen drei Bereiche vor, die sich wie folgt definieren:

- 1) AOI Tier 1: Ein Bereich mit einem hohen Detaillierungsgrad. Dies ist zum Beispiel der Standort von Steuereinheiten oder Bereiche mit einem stark begrenzten Platzangebot. Daraus folgt die Forderung nach einem 3D-Modell inklusive Farbinformationen für die Gestaltung und Planung.
- 2) AOI Tier 2: Beschreibt einen Bereich mit einem mittleren Detaillierungsgrad. Darunter fallen zum Beispiel die Bereiche, in denen Retrofitmaßnahmen durchgeführt werden sollen. Hier ist ein 3D-Modell nicht notwendig, aber die Integrität der Daten muss gewährleistet sein.
- 3) AOI Tier 3: Ein Bereich mit einem geringen Detaillierungsgrad. Dazu gehören zusätzliche, oder an die eigentlichen Bereiche angrenzende Bereiche. Auch hier ist ein 3D-Modell nicht notwendig und ebenso wenig die Farbinformation.

So wurden die Anforderungen in bereichsorientierten Pflichtenheften zusammengetragen und in einen Baukasten integriert. Auf der folgenden Zeichnung (Abbildung 57) sind die eben

beschriebenen AOI in einem Schiffsquerschnitt im Bereich des Abgasschachts beispielhaft eingefärbt.

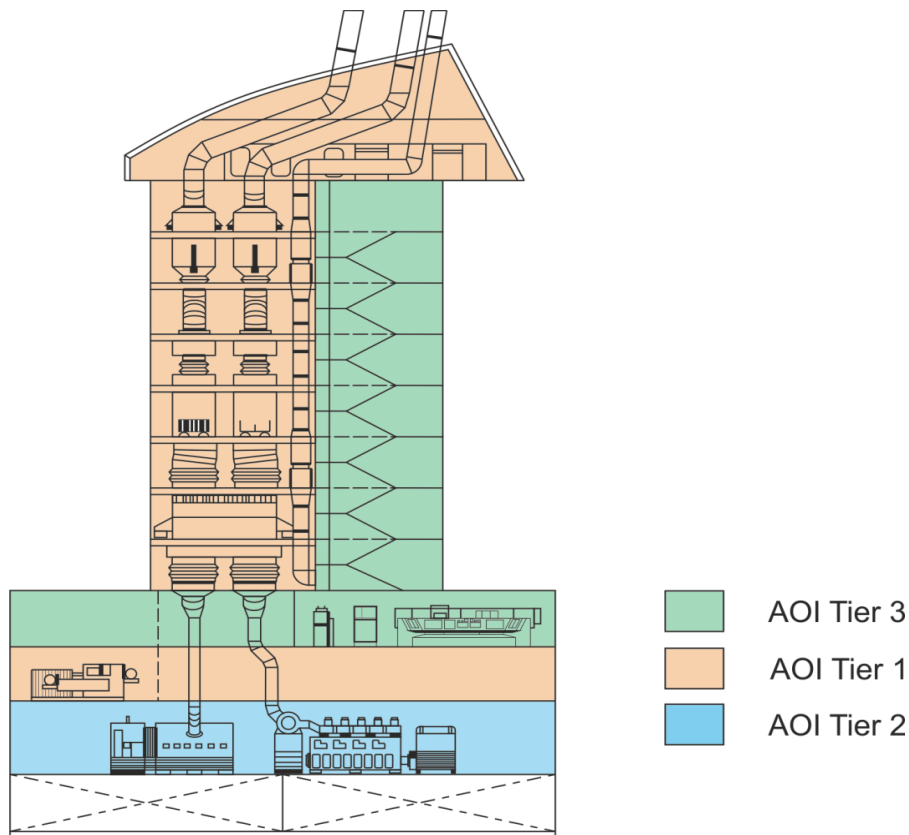


Abbildung 57: Aufteilung der AOI im Bereich des Abgasschachts

### 2.2.1.2 Methodenbaukasten zur Ist-Datenbereitstellung, Teil 2

Der Prozesskonfigurator ist ein Tool zum Berechnen des Aufwands, um 3D-Modell bzw. Punktwolken eines beliebigen Bereichs zu erstellen.

Um den Prozesskonfigurator zu entwickeln, wurde zunächst ein Baukasten in MS Excel erstellt, um die geeignete Erfassungsmethode zu ermitteln. Für diese Methode haben sich verschiedene In- und Outputs ergeben. Die Inputs sind in erster Linie: die vorher definierten Bereiche, die Qualität (Vollständigkeit der Dokumentation, wird ein 3D-Modell benötigt, sind Informationen über die Farbe notwendig, etc.) und das zu scannende Volumen. Der daraus folgende Output ist eine Auswertung verschiedener Technologien (Laser, 3D-Kamera, Photogrammetrie, etc.) aufgeschlüsselt nach Vorbereitungs-, Durchführungs-, Nachbereitungs- und Postprocessingzeit. Der Benutzer kann sich dadurch geeignete Aufnahmemethoden abhängig von den Rahmenbedingungen (bspw. verfügbare Zeit) zusammenstellen. Auf Basis dieses Baukastens wurde der Prozesskonfigurator entwickelt, der jedoch in erster Linie die Scanzeiten ermittelt, so dass die Auswahl der Scan-Hardware auf mehreren Anwendungen des Konfigurators basiert.



Der Prozesskonfigurator bietet die Möglichkeit der Berechnung und grafischen Darstellung der voraussichtlichen Dauer von Aufnahmen in Abhängigkeit von verschiedenen Rahmenbedingungen. Diese Rahmenbedingungen sind zum einen von dem Anwender auszuwählen und zum anderen in den Datenbanken des Tools hinterlegt.

Der Prozesskonfigurator beinhaltet in seiner Bedienoberfläche vier Tabs, wobei die Tabs „Eingabe“ und „Berechnung“ für den Anwender die wesentlichen sind. Die Eingabeoberfläche des Konfigurators ist in Abbildung 58 zu sehen. In dieser Oberfläche kann der Anwender vordefinierte Bereiche auswählen, oder auch, wenn der gewünschte Bereich nicht vorhanden ist, einen neuen erstellen. Die zweite Option ist die Auswahl der Aufnahme Hardware (Laserscanner, Kinect) inklusive der gewünschten Parametereinstellungen. Abschließend stellt der Anwender die geforderte Qualität der Scans und das zu scannende Volumen ein. Nach den Einstellungen wird die Berechnung über den Knopf Rückmeldung gestartet. Anschließend befindet sich der Nutzer in dem Tab „Berechnung“, in dem die voraussichtlichen Zeiten angezeigt werden.

Für die Berechnung dieser Zeiten greift der Konfigurator auf verschiedene Datenbanken zurück. Zum einen auf eine integrierte Tabelle, in der die Parameter der Scanner dokumentiert sind (die Netto-Scanzeit in Abhängigkeit von den Scannereinstellungen) und zum anderen Tabellen mit aufgenommenen Scanzeiten (Zeiten wie zum Beispiel Auf- und Umbauzeiten, die abhängig von der Hardware und der Einsatzumgebung sind und nicht als Scannerparameter dokumentiert sind).



Abbildung 58: Eingabemaske Prozesskonfigurator

Weiterhin bietet das Tool die Möglichkeit, Prognosen zu verbessern, indem Werte von folgenden Projekten nachträglich in die bestehende Datengrundlage integriert werden. Dies erfolgt, indem die Daten in standardisierten Excel-Tabellen abgelegt und diese in den Programmordner verschoben werden. Über den Tab „Update“ in dem Prozesskonfigurator können die Daten ausgewählt und mit in die Berechnungsgrundlage integriert werden.

Die detaillierte Anwendung des Tools wird in der „Bedienungsanleitung Frühabschätztool“ beschrieben.

### ***2.2.1.3 MDT: Entwicklung geregelter Vorgehensweisen zur Ist-Datenerfassung (direkte Visualisierung in 3D)***

#### **2.2.1.4 Metadatenchema für Planungsdaten, Teil 1**

Teil1 – Schema für Plandaten: Die Verknüpfung der in AP 2.1.1.7 generierten Aufwände mit den entsprechenden Bauteilen, die mit der Ist-Geometrie-Erfassung aufgenommen wurden, erfolgt ebenfalls im ViP-Composer. Hierüber lässt sich ebenfalls die Reihenfolge der Demontage- und Montageschritte festlegen. Dem Metadatenchema für die Planungsdaten lassen sich somit sowohl die Reihenfolgen als auch die Plan-Dauern der Arbeitsschritte entnehmen, was die Planung des zeitlichen Ablaufs und der Kapazitäten vereinfacht. Das Metadatenchema für Planungsdaten ergänzt das Gesamtdatenmodell. Um aus den Ist-Daten Rückschlüsse auf die Planungsgenauigkeit ziehen zu können und um die Planung ggf. für spätere Projekte präzisieren zu können, sind Ist-Daten im Metadatenchema ebenso vorgesehen.

#### **2.2.1.5 Metadatenchema für Planungsdaten, Teil 2**

Teil 2 – Schema für Rückmeldedaten: Um die Ist-Daten zurückzumelden, trägt das vor Ort verwendete AR-System diese in die entsprechenden Felder im Metadatenchema ein. Hierbei werden je nach Anwendungsfall die vom Benutzer durchgeführten Schritte zurückgemeldet, wie bspw. ausgeführte Handlung, Zeitpunkt, Benutzer, Ausführungsdauer, aufgetretene Fehler. Die zuvor erzeugten Plandaten bleiben hiervon unberührt, sodass sich im ViP-Composer im Nachhinein die Differenz zwischen Plan- und Ist-Daten vergleichen und auswerten lässt. Hieraus lässt sich ermitteln, bei welchen Demontage- und Montageschritten der Detailgrad der Planung verbessert werden muss oder die anzunehmenden Plan-Durchführungszeiten anzupassen sind. Ebenso können Abweichungen in der Ausführungsreihenfolge im Nachhinein nachvollzogen werden, sodass Planungsfehler aufgedeckt und eliminiert werden können.

### ***2.2.1.6 MDT: Auswahl und Anreicherung der Modelldaten durch benötigte Planungsdaten (z. B. für Montageplanung)***

### 2.2.1.7 Integration von sicherheitstechnischen und ergonomischen Informationen in die Planungsdaten, Teil 1

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde zunächst untersucht, welche ergonomischen und sicherheitstechnischen Informationen a) vorliegen, b) zukünftig verfügbar sein sollen und c) welche Informationen für die Bereitstellung in digitaler Form benötigt werden.

Hierbei wurden ebenfalls die verschiedenen Möglichkeiten der Darstellung dieser Informationen für die Ausführenden vor Ort untersucht, da es sich teilweise um Hinweise handelt, die unbedingt zu beachten sind. Die ergonomischen und sicherheitstechnischen Informationen wurden wie in Abbildung 59 dargestellt klassifiziert.

	ergonomisch	sicherheitstechnisch
unbedingt zu beachtender Hinweis	E1	S1
wichtiger Hinweis	E2	S2
einfacher Hinweis	E3	S3

**Abbildung 59: Klassen für ergonomische und sicherheitsrelevante Informationen**

Unternehmens- oder anwendungsfallspezifisch lässt sich nun für die verschiedenen Klassen jeweils festlegen, in welcher Form die Hinweise anzuzeigen sind. Sie können entweder als zu bestätigender Hinweisdialog (tendenziell für unbedingt zu beachtende Hinweise), als große, ins Auge stechende Überblendung oder als dezente Einblendungen (tendenziell für einfache Hinweise) erscheinen.

Zudem berücksichtigt die Systematik unterschiedliche Aufbereitungsgrade für die ergonomischen und sicherheitsrelevanten Informationen. Diese können entweder vollständig geometrisch aufbereitet sein (z. B. eine ergonomische Pose, die einzunehmen ist), geometrischen Bezug haben (z. B. ein Hinweispfel zu einem bestimmten Ort oder Bauteil) oder genereller Natur sein (z. B. ein Texthinweis oder ein Warnsymbol). Die Informationen wurden entsprechend ihrem Aufbereitungsgrad in eine weiterverwendbare Form übertragen.

Die im BMWi-Verbundprojekt POWER-VR entworfene Systematik zur Identifikation der für ergonomische Ausführung relevanten und kritischen Bauteile wurde für Retrofit-Projekte adaptiert und in die Systematik integriert.

### 2.2.1.8 Integration von sicherheitstechnischen und ergonomischen Informationen in die Planungsdaten, Teil 2

Zunächst wurde in diesem Arbeitspaket die zuvor entworfene Systematik an einem Praxisbeispiel evaluiert. Abbildung 60 zeigt ein Beispiel für eine Ergonomieauswertung in einem

ergonomisch kritischen Bereich. Die Ergebnisse der Ergonomieanalyse fließen entsprechend der beschriebenen Systematik in die Datenbasis ein.

Body Section	Posture	Task 1A	Score Task 1A	Task 1B	Score Task 1B
Trunk	Severe	3	3	1	1
Legs	Non-Neutral	2		1	
Arms	Stretched	3		1	

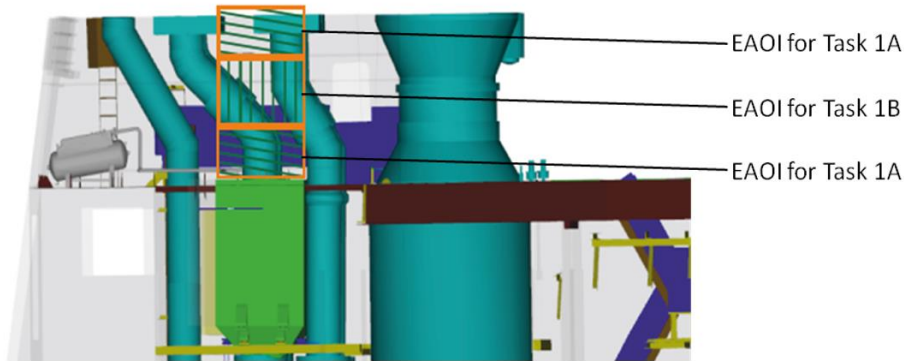


Abbildung 60: Beispiel für eine Ergonomieauswertung in einem kritischen Bereich

Für die erweiterte Nutzung ergonomischer und sicherheitstechnischer Informationen wurden die Möglichkeiten untersucht, weitere Informationen zu integrieren. Hierzu wurden bestehende 3D-PDF-Anleitungen der MDT verwendet, um die darin enthaltenen Montageinformationen zusammen mit der schiffsspezifisch aufgenommenen 3D-Ist-Geometrie in die Planungsdaten aufzunehmen. Ein Ausschnitt des Ergebnisses ist in Abbildung 61 dargestellt. Hierbei wurden die mithilfe einer 3D-Kamera (Microsoft Kinect) aufgenommenen Ist-Daten mit den Planungsdaten und den Anweisungen aus dem 3D-PDF verknüpft.



Abbildung 61: Integration bestehender 3D-PDF-Anleitungen (MAN) in Ist-Geometrie

Die Datenbasis wurde außerdem um weitere Hinweise erweitert, die sich aus Richtlinien wie Klassevorschriften und DIN-Normen ergeben, um die Allgemeingültigkeit des Konzepts zu validieren.

#### ***2.2.1.9 MDT: Verbesserung der Montageplanung durch Berücksichtigung sicherheitstechnischer und ergonomischer Aspekte***

#### ***2.2.1.10 MDT: Erstellung von Muster-Planungen zur Analyse des Planungsaufwands mit unterschiedlichen Planungstools (CAD, VR, AR) und Bewertung für die definierten ausgewählte Szenarien und Planungsaufgaben, Teil 1***

#### ***2.2.1.11 MDT: Erstellung von Muster-Planungen zur Analyse des Planungsaufwands mit unterschiedlichen Planungstools (CAD, VR, AR) und Bewertung für die definierten ausgewählte Szenarien und Planungsaufgaben, Teil 2***

### **2.2.2 Erzeugung der aggregierten Datenbasis**

#### **2.2.2.1 Entwicklung eines Produktionsdatenmodells, Basismodell**

Die Datenbasen der beteiligten Projektpartner FSG und Meyer Werft wurden als Grundlage für das Produktionsdatenmodell herangezogen. Hierbei zeigte sich bei beiden Werften eine Unterteilung der Daten in:

- 3D-Geometriedaten
- Planungsdaten
- Metadaten
- Dateiformatbasierte Daten

Das Produktionsdatenmodell greift diese Unterteilung der Daten auf und berücksichtigt darüber hinaus deren Bezug, da die verfügbaren Daten entweder global (auf das gesamte Unternehmen bezogen), projektbezogen (z. B. auf ein Schiff), arbeitspaketbezogen oder arbeitsschritt- bzw. bauteilbezogen sind. Um eine Generalisierung des Produktionsdatenmodells zu erzielen, wurden die einzelnen Hierarchieebenen vereinheitlicht, sodass das Produktionsdatenmodell keine Kenntnisse über den Aufbau der Fertigung enthalten muss (bspw. Vorausrüstung, Sektionsausrüstung, Blockbau).

Das Modell wurde zusätzlich um die Ausführungsdaten (Werker, Gewerke etc.) erweitert. Abbildung 62 zeigt das Basisschema des Produktionsdatenmodells.

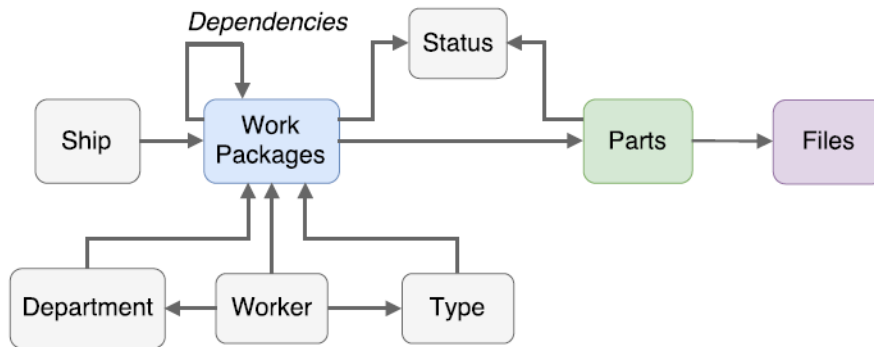


Abbildung 62: Schema des Produktionsdatenmodells

### 2.2.2.2 Entwicklung eines Produktionsdatenmodells, Detaillierung

Das in AP 2.2.2.1 entwickelte Basisschema für das Produktionsdatenmodell wurde bei der FLW validiert, um sicherzustellen, dass es die Modellanforderungen und Datenstrukturen aller beteiligten Werften abdeckt. Hierbei stellte sich heraus, dass das Basismodell auch auf die hier vorliegenden Strukturen anwendbar ist. Im nächsten Schritt erfolgte die Detaillierung des Modells. Diese hatte ebenfalls zum Ziel, auch die für die Verwendung digitaler Arbeitsunterlagen notwendigen Voraussetzungen (Benutzerzugriff auf die Datenstruktur, Modellierung von ausführungrelevanten Daten) zu schaffen. Hierbei ergab sich folgender Aufbau (vgl. Abbildung 63):

Ein Projekt (Ship) enthält die gesamten Daten, die für die Produktion benötigt werden, zusammen mit Projektplanungsdaten wie Start- und Fertigstellungstermin. Es setzt sich aus Arbeitspaketen (Work Packages) zusammen, wobei sich diese aus weiteren Arbeitspaketen zusammensetzen können – die Hierarchietiefe ist hierbei frei wählbar. Die Arbeitspakete enthalten wiederum eine Beschreibung sowie die Plan-Start- und Fertigstellungstermine.

Für die Echtzeitübertragung der Daten auf mobile Endgeräte speichert das Produktionsdatenmodell pro Arbeitspaket auch dessen letzten Aktualisierungszeitpunkt. Arbeitspakete sind einem Arbeitsbereich (Department, z. B. Sektionsausrüstung, Rohrfertigung oder Blockbau) zugeordnet, in dem es gefertigt wird und dessen Mitarbeiter die Tätigkeiten ausführen. Arbeitspakete haben weiterhin bestimmte Eigenschaften (Elektro-Arbeiten, Schweißarbeiten), die eine Planung und automatische Zuordnung zwischen Arbeitspaket und Werkern mit entsprechenden Fähigkeiten ermöglichen. Hierzu wurde eine intelligente Auswahllogik erschaffen.

Arbeitspakete enthalten wiederum Bauteile/Arbeitsschritte (Part), denen jeweils Dateien mit den Informationskategorien 3D-Geometrie, Metainformationen sowie diverse dateibasierte Informationen zugeordnet sein können – die vierte Informationskategorie Planungsdaten findet sich in der Datenbankstruktur selbst wieder. In dieser Struktur ist es ebenso vorgesehen, dass mehrere Teile in einer gemeinsamen 3D-Datei enthalten sind. Das Format der Datei ist dabei nicht relevant und kann Unternehmensspezifisch gewählt werden.

Teile wie auch Arbeitspakete haben einen Status, in dem ihr derzeitiger Zustand (z. B. bestellt, lagernd, eingebaut, fehlerhaft, etc.) festgehalten ist. Da der Status eines Arbeitspaketes von dem kumulierten Status der enthaltenen Bauteile abweichen kann (bspw. wenn ein Teil fehlt, dieses aber in einem Nacharbeitsauftrag zu einem späteren Zeitpunkt eingebaut wird, sodass das Arbeitspaket als abgeschlossen gilt).

Werker sind mit ihrer Zugehörigkeit zu einem Arbeitsbereich und ihren Fähigkeiten im Produktionsdatenmodell verzeichnet. Für den Zugriff auf die Daten benötigen sie jeweils einen Benutzernamen und ein Passwort, das sich durch eine etwaige Verwendung von alternativen Methoden der Authentifizierung – wie bspw. Fingerabdrucksensoren oder persönliche RFID-/NFC-Tags, gegenüber dem mobilen Endgerät, auf dem eine Anwendung ausgeführt wird, die auf die Datenbasis zugreift, ersetzen lässt. Mit diesen signieren sie gleichzeitig den Einbau von Teilen bzw. die Fertigstellung von Arbeitsschritten.

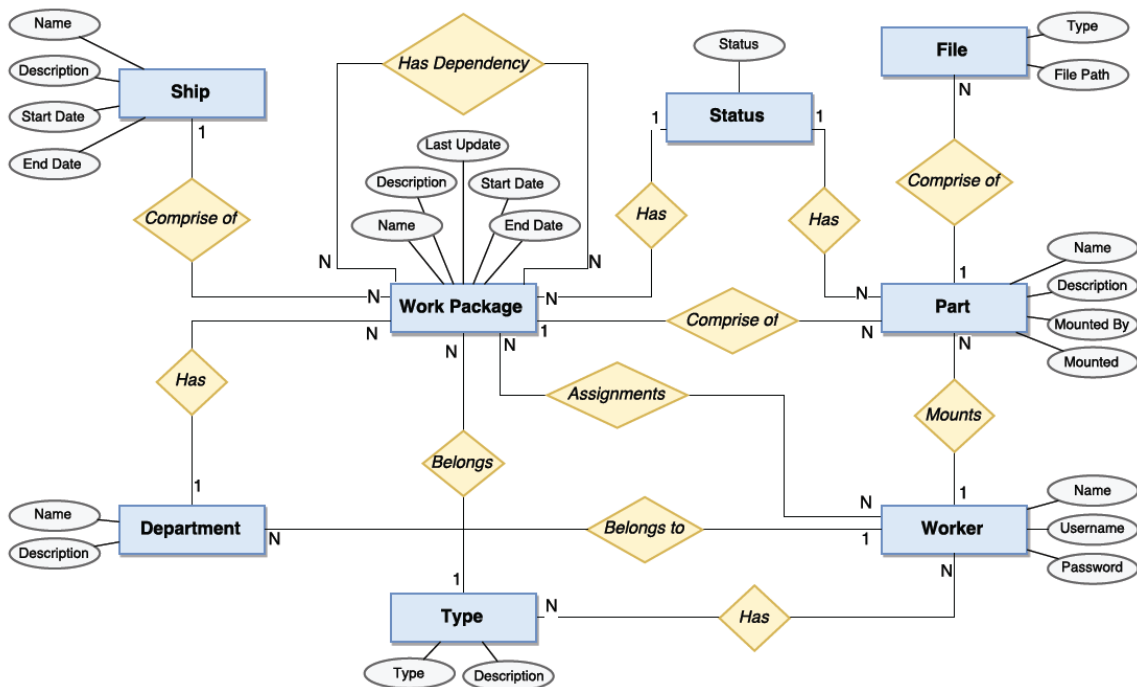


Abbildung 63: Detailliertes Produktionsdatenmodell (Übersicht der Datenbankstruktur)

### 2.2.2.3 FSG: Ergänzung/Aufbereitung des Produktionsdatenmodells für Unikat-Montage

### 2.2.2.4 MW: Ergänzung/Aufbereitung des Produktionsdatenmodells für getaktete Montage

### 2.2.2.5 Basisspezifikation und Verifikation durch Entwicklung einer Schnittstelle zur IPMT-Middleware

Das in den Arbeitspaketen 2.2.2.1 und 2.2.2.2 entwickelte Produktionsdatenmodell erlaubt zwar das Laden unterschiedlicher Datenformate und Metadatenkataloge auf die mobilen

Endgeräte, jedoch müssen die Daten für die Nutzung und Anzeige in digitalen Arbeitsunterlagen noch für die mobilen Endgeräte konvertiert werden.

Dies geschieht in der IPMT-Middleware über sogenannte Daten-Konnektoren (vgl. Abbildung 64). Diese laden die Daten unternehmensspezifisch in das Produktionsdatenmodell und konvertieren sie für das interne Format für die digitalen Arbeitsunterlagen. Hierbei findet auch die Verknüpfung zwischen Planungsdaten, Geometriedaten, Metadaten und dateibasierten Daten statt, sodass alle benötigten Daten für die mobilen Endgeräte je nach Arbeitsaktivität filterbar sind.

Die Middleware-Konnektoren wurden prototypisch für vier Unternehmensdaten (MW, FSG, FLW, MDT) umgesetzt und zur Verifikation für einen anderen Fertigungstyp auch für die Getriebefertigung in der IPMT-Modellfabrik umgesetzt.

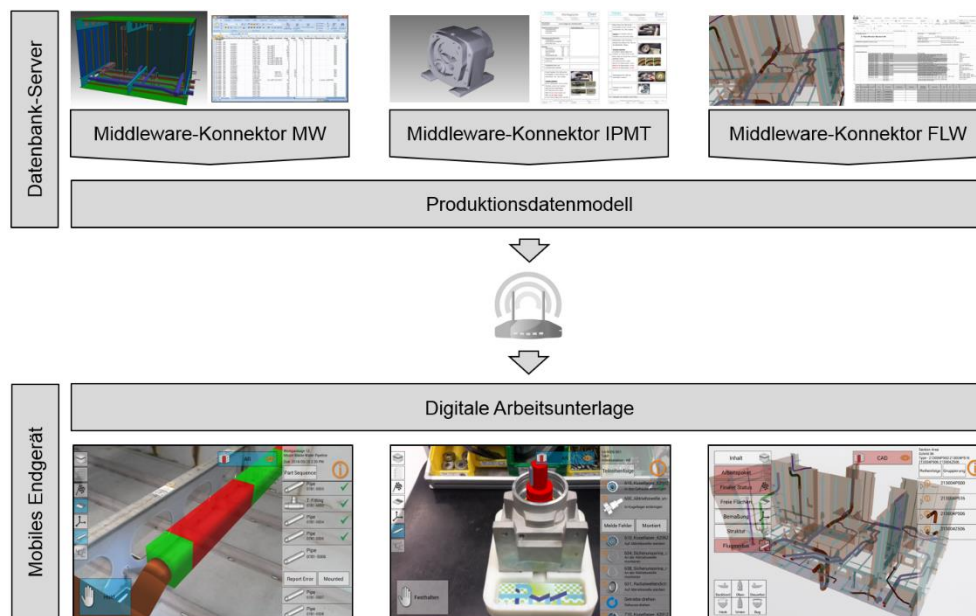


Abbildung 64: Unterschiedliche Datenformate in der digitalen Arbeitsunterlage

### 2.2.2.6 FSG: Spezifikation/Entwicklung der Schnittstelle für den Datenzugriff aus CAD/Planungstool

### 2.2.2.7 MW: Spezifikation/Entwicklung der Schnittstelle für den Datenzugriff aus PDM-Datenbasis



## 3 Technologieeinsatz zur Produktivitätssteigerung

### 3.1 Technologiespezifische Eignungsuntersuchung

#### 3.1.1 Technologien zur Ist-Aufnahme

##### 3.1.1.1 Technologiescreening Laserscan, Fotografie

Für die Ist-Erfassung einer Umgebung gibt es mehrere technologische Möglichkeiten, die je nach den Einsatzanforderungen unterschiedlich gut geeignet sind. Der Erstellungsaufwand oder die Genauigkeit der erzeugten Modelldaten sind wichtige Kriterien, die die TUHH in diesem AP zu einem Kriterienkatalog zusammenfasst, um einen Vergleich der verschiedenen Methoden zur Ist-Erfassung durchzuführen.

#### Vorstellung verschiedener Technologien

- **Terrestrisches Laserscanning**

Durch das zeilen- oder rasterartige Überstreichen mit einem Laserstrahl wird beim Laserscanning ein Abbild von Körpern und Oberflächen erzeugt. Beim Terrestrischen Laserscanning wird ein Abbild mittels Pulslaufzeit und Phasendifferenz im Vergleich zu einer Referenz oder durch Triangulation von Laserstrahlen erfasst. Dabei entsteht eine diskrete Menge von Abtastpunkten, die als Punktwolke bezeichnet wird. Abbildende Laserscanner ermöglichen zudem die Aufnahme der Intensitätswerte des reflektierten Laserstrahls. Diese Informationen ermöglichen die zusätzliche Abbildung der Oberflächen in 16-bit-Graustufen.

- **Manuelle Vermessung**

Bei der manuellen Vermessung wird eine handgeschriebene Skizze erzeugt. Diese besteht hauptsächlich aus Abstandmaßen verschiedener Objekte sowie deren Größenmaße. Die Abstandsmaße können mit einem Laser-Entfernungsmessgerät oder manuell mit einem Maßband ermittelt werden. Aktuelle Lasergeräte besitzen zudem die Möglichkeit der automatischen Winkel- und Radiusmessung, sowie Kleinst- und Größtmaßbestimmung und zusätzlicher mathematischer Funktionen.

- **3D-Kameras**

3D-Kameras erstellen ein 3D-Abbild ihrer Umgebung. Die Erzeugung des Abbilds kann mit verschiedenen Funktionsprinzipien erfolgen: Stereokameras, Triangulationssysteme sowie Laufzeitmessung mittels PMD-Sensoren. Wie auch beim terrestrischen Laserscanning werden die in dem Bild enthaltenen Tiefeninformationen in einer Punktwolke dargestellt und können anschließend in ein 3D-Mesh-Modell umgewandelt werden. Die Microsoft Kinect funktioniert mittels Triangulation.

- **Lichtfeldkameras**

Eine Lichtfeldkamera erfasst das 4-D-Lichtfeld einer Szene. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras wird nicht nur Position und Intensität eines Lichtstrahls, sondern auch die Richtung, aus der der Lichtstrahl einfällt, aufgezeichnet. Die technische Umsetzung erfolgt über ein Gitter aus Mikrolinsen, welche vor dem Bildsensor angebracht sind. Die Besonderheit der Lichtfeldkameras stellt die anpassbare Fokusebene dar. Auf diese Weise wird es selbst nach der eigentlichen Aufnahme ermöglicht, die Fokusbereiche wie auch den Blickwinkel auf das Objekt zu verändern.

- **Roboter**

Um den gesamten Raum einer Halle oder den Blickwinkel auf einzelne Objekte variieren zu können und somit auch gleichzeitig einen erhöhten Detaillierungsgrad zu ermöglichen, ist eine Veränderung des Standpunktes notwendig. Die Kombination einer mobilen Roboterplattform in Verbindung mit der entsprechenden Mess-einrichtung reduziert den manuellen Aufwand, wobei besonders Zeiteinsparungen im Bereich des Anbringens der Marker zu erwähnen sind. Zwar gibt es bereits erste erfolgreiche Projekte, wie z. B. den Roboter Irma 3D mit einem aufgebauten 3D-Laserscanners, jedoch bringen gerade die Positions- und Orientierungsbestimmung des Roboters noch einige Schwierigkeiten mit sich.

### **Bewertungskriterien**

- **Aufnahmedauer/ -geschwindigkeit**

Das Kriterium Aufnahmedauer beschreibt den Zeitaufwand für den reinen Messvorgang des Objektes beziehungsweise der Umgebung. Hierbei sind jedoch auch die Genauigkeit der Messung (Messpunkte pro Sekunde) sowie deren Umfang und das spätere Ergebnis zu berücksichtigen. Bei Videoaufnahmen erfolgt zusätzlich der Hinweis zu möglichen Abtast-/ Aufnahmefrequenzen.

- **Detaillierungsgrad**

Der Detaillierungsgrad beschreibt die Exaktheit der Messung. Hierbei spielen vor allem die Punkte Winkelfehler, Auflösung und Wiederholgenauigkeit eine Rolle.

- **Oberflächengenauigkeit**

Die Oberflächengenauigkeit bei der Vermessung mittels Laserstrahl wird durch den Laserdurchmesser beschrieben. Weitere Ungenauigkeiten treten aufgrund von Streuung und Winkelabweichungen auf.

- **Parallelisierung**

Parallelisierung beschreibt die Möglichkeit, mehrere Geräte parallel zu betreiben. Es bleibt zu überprüfen, ob hier eventuell Störeffekte durch Überlagerung der Signale auftreten oder die Möglichkeit besteht, Messfrequenzen zu variieren.

- **Genauigkeit über Länge**  
Ein weiteres Merkmal stellt die Genauigkeit der Messung über die Länge dar. Neben der steigenden Messabweichung mit zunehmender Entfernung ist auch die Tiefengenauigkeit vom Messpunkt abhängig. Weitere Auswahlkriterien können zudem der horizontale/ vertikale Blickwinkel der Messung sowie die maximale Reichweite sein.
- **Kosten**  
Der Punkt Kosten beschreibt die Anschaffungskosten der jeweiligen Technologien. Aufgrund unterschiedlicher Qualitäten können hier starke Preisschwankungen auftreten. Auch die Anschaffung der für die Datenauswertung notwendigen Software variiert im Preis.
- **Vor- und Nachbereitungsaufwand**  
Unter Vorbereitungsaufwand sind jegliche Tätigkeiten zu verstehen, welche vor Beginn der eigentlichen Messung durchgeführt werden müssen. Hierzu können Kalibriervorgänge, Skizzen, Installationen und Geräteaufbau oder das Anbringen von Markern verstanden werden.
- **Mobilität**  
Mobilität umfasst sowohl die physischen Merkmale des Messgerätes (Abmessungen, Gewicht und Handlingmöglichkeiten) als auch Export- und Importbestimmungen oder Beschaffungsmöglichkeiten.
- **Farbe/Intensität**  
Vor allem für die spätere Visualisierung und realitätsnahe Abbildung der Aufnahme ist die automatische Übertragung von Farbinformationen auf das spätere Modell von Interesse. Das Merkmal Farbe/Intensität beschreibt dabei sowohl die Aufnahme von Informationen in Form von Graustufen oder Farbscans als auch deren Farbtiefe und Auflösung.

### Randbedingungen

Die Bewertung erfolgte mit folgenden Randbedingungen:

- Zeit (5h, 8h, 10h)
- Volumen (50 m<sup>3</sup>, 1000 m<sup>3</sup>)
- Robustheit (gegenüber Lichtverhältnisse)

## Bewertungen

Technologie				terrestrisches Laserscanning	manuelle Vermessung	3D-Kamera **	Lichtfeldkamera	Roboter****
Volumen	50 m <sup>3*</sup>	Zeit	5 h	+	Abhängig vom Detaillierungsgrad	+	-	-
			8 h	++		+	-	-
			10 h	++		+	-	-
	1000 m <sup>3**</sup>	Zeit	5 h	-	-	-	-	++
			8 h	-	Abhängig vom Detaillierungsgrad	-	-	++
			10 h	+		-	-	++
Lichtverhältnisse				voll funktionsfähig bei hellem Sonnenlicht wie totaler Dunkelheit	Messungen auch bei grellem Sonnenlicht möglich. Zum Teil Fehlmessungen bei zu hohem Hintergrundlicht. Beleuchtung für einfaches Messen auch in Dunkelheit	IR-Strahlen ermöglichen Gestenerkennung auch bei schlechteren Lichtverhältnissen, jedoch mit Einschränkungen. Verwendung von moduliertem Licht bei PMD Sensoren	Einstellbare ISO-Empfindlichkeit	/

Annahmen: \* Dauer pro Aufnahme von 10 min. / min. Anzahl Messungen pro 50 m<sup>3</sup>: 15  
 \*\*Dauer pro Aufnahme von 10 min./ min. Anzahl Messungen pro 100 m<sup>3</sup>: 5  
 \*\*\* mit angenommener Messweite von 10 m  
 \*\*\*\* inklusive Betrachtung von Aufwand/Nutzen

Abbildung 65: Bewertungen

- Die Kriterien wurden aus den Pflichtenheften systematisch in einem Katalog zusammengetragen.
- Darauf aufbauend ist ein Technologiescreening zur Ist-Datenerfassung durchgeführt worden.

### 3.1.1.2 MDT: Ist-Stand-Aufnahme-Beurteilung aus praktischer Sicht (An-Bord-Eignung)

### 3.1.1.3 Entwicklung Methoden-Baukasten zur Erzeugung von 3D-Planungsdaten (1)

Zur Entwicklung des Methodenbaukastens wurden zunächst die möglichen Einflussgrößen auf die Dauer der Aufnahme sowie die Menge und Qualität der 3D-Ist-Geometriedaten untersucht. Als Einflussgrößen wurden das AOI Tier (vgl. Arbeitspaket 2.2.1.1), die geometrische Komplexität des aufzunehmenden Bereiches, die Bereichsgröße sowie die gewählte Aufnahmetechnologie ausgemacht. Das AOI Tier beeinflusst dabei direkt die geforderte Datenqualität (sehr hohe Qualität bei AOI Tier I, niedrige Qualität bei AOI Tier III) und somit indirekt auch die Aufnahmedauer, die mit steigender Qualität ebenfalls zunimmt. Die Komplexität des Bereiches (bspw. Abstrakt gegenüber Fahrzeugdeck) erhöht die Aufnahmedauer und die erzeugte Datenmenge. Gleiches gilt für die Bereichsgröße. Die Technologien haben jeweils unterschiedliche Einflüsse, die das Frühabschätzungstool (vgl. Arbeitspaket 2.2.1.2) zusammenfassend berechnet. Es zeigte sich, dass vielfältige Abhängigkeiten beste-

hen, sodass eine strukturierte Vorgehensweise bei der Technologieauswahl für das jeweilige Szenario notwendig ist, um zu den gewünschten Ergebnissen zu gelangen. Abbildung 66 verdeutlicht die Abhängigkeiten.

Ergebnis	AOI Tier (I - III)	Komplexität	Bereichsgröße	Technologie
Aufnahmedauer	+	+	+	+/-
Erzeugte Datenmenge	+	+	+	+/-
Datenqualität	+			+/-

**Abbildung 66: Abhängigkeiten zwischen Einflussgrößen und Ist-Geometrie-Aufnahme**

Der Methodenbaukasten selbst besteht aus mehreren Tools, die gesteuert durch die mithilfe des Frühabschätzungstools getroffenen Technologie-Entscheidungen die 3D-Ist-Daten-Erzeugung unterstützen. Die Technologien wie bspw. das Laserscanning oder die Aufnahme mit 3D-Kameras wie der Microsoft Kinect sind zwar prinzipiell verfügbar, eignen sich jedoch per se nicht in allen Anwendungsfällen. Das Ziel des Methodenbaukastens war es, branchen- und szenariobedingte technologische Lücken zu schließen und einen effizienten Aufnahme-prozess für Retrofitprojekte zu gewährleisten. Dies ist in Arbeitspaket 3.1.1.4 geschehen.

### 3.1.1.4 Entwicklung Methoden-Baukasten zur Erzeugung von 3D-Planungsdaten (2)

Die für den Methodenbaukasten entwickelten Tools umfassen unter anderem:

#### NDT-Registrierungs-Tool

Ein wesentlicher Zeitaufwand bei der 3D-Ist-Daten-Erzeugung mit 3D-Laserscannern besteht durch die Verwendung von Orientierungsmarken zur Registrierung (Ausrichtung aneinander im selben Koordinatensystem) der Scans bei der Nachbereitung. Aufwände entstehen entweder beim Anbringen der Marker vor dem Scanvorgang oder währenddessen, oder beim manuellen Zusammensetzen der Einzelscans bei der Nachbereitung. Das NDT-Registrierungs-Tool kombiniert die Vorteile beider Varianten: Anstelle der Marker verwendet es Histogramme der Verteilung der Normalenrichtungen in inkrementell kleiner werdenden Bereichen der Laserscans, um diese aneinander auszurichten. Hierdurch können manuelle Aufwände eingespart werden. Das Verfahren wurde an mehreren Testdatensätzen evaluiert.

#### Scannen mit 3D-Kameras

Da Laserscanner aufgrund der statischen Aufstellung oftmals Bereiche nicht erfassen, die von anderen Gegenständen verdeckt sind, entstehen z. T. unvollständige Aufnahmen. Dies ist besonders bei hoher Komplexität der Umgebungen der Fall. Um auch für komplexe Umgebungen ein Aufnahmeverfahren bereitzustellen, wurde die Aufnahme mit 3D-Kameras am Beispiel der Microsoft Kinect untersucht. Hierbei wird die Kamera per Hand geführt und nimmt mit bis zu 30 Bildern pro Sekunde die 3D-Geometrie auf. Ein Algorithmus auf einem angeschlossenen Rechner berechnet aus den Einzelaufnahmen die Trajektorie der Kamera

und setzt die 3D-Bilder zu einem Gesamtmodell zusammen. Das Aufnahmeverfahren ist in Abbildung 67 dargestellt.



Abbildung 67: Funktionsprinzip des Aufnahmeverfahrens mit 3D-Kameras

### Photogrammetrie-Kit

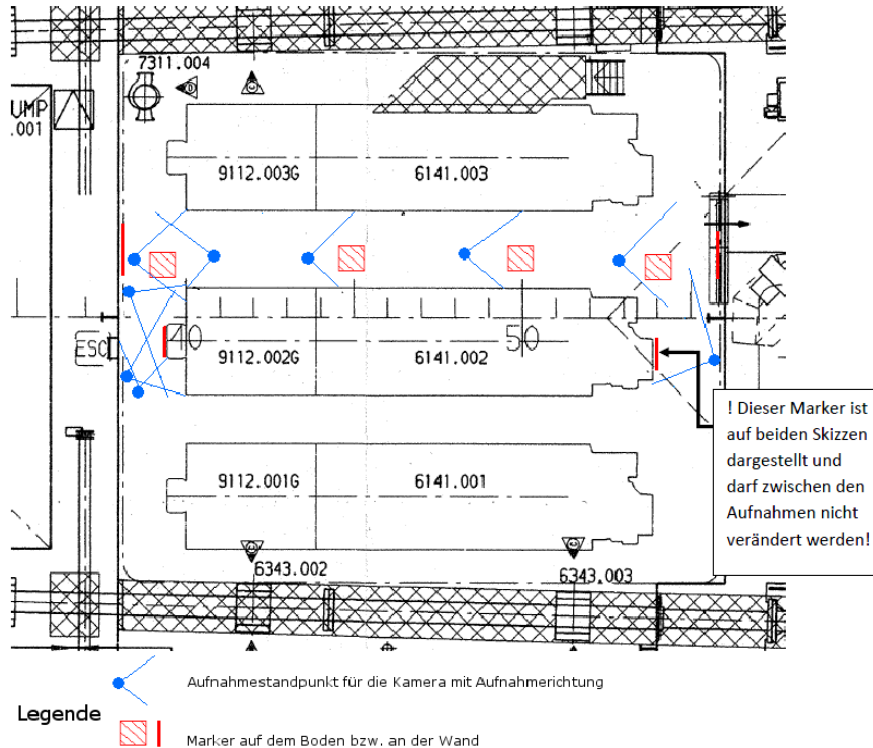
Das Photogrammetrie-Kit ermöglicht eine schnelle Aufnahme der Geometrie, die sich sogar von Laien durchführen lässt. Es besteht aus einer Anleitung zur Durchführung der Aufnahme sowie den dafür notwendigen Materialien. Die Voraussetzungen für die Durchführung sind lediglich der Druck der Markierungen im Format A4 sowie eine Digitalkamera, wobei z. T. bereits sehr gute Kameras in Smartphones für eine hinreichend genaue Aufnahme genügen. Es besteht somit die Möglichkeit, das Photogrammetrie-Kit bspw. per E-Mail an den Schiffsbetreiber zu verschicken, sodass dieser zunächst eine Voraufnahme der Geometrie durchführen kann, ohne dass vom Generalauftragnehmer beauftragte Mitarbeiter vor Ort sein müssen. Hieraus ergibt sich eine Reduktion von Personal- und Reisekosten. Zudem ist die Geometrie-Datenbasis je nach Route des Schiffes schneller vorhanden. Je nach Komplexität des Umbauprojekts müssen jedoch im Folgenden weitere Geometrieaufnahmen erfolgen, um die Planungsbasis zu detaillieren. Einen Auszug aus der Anleitung des Photogrammetrie-Kits ist in Abbildung 68 zu sehen.

**Übersicht: Markerpositionen**

Zu vermessen sind:

- Der mittlere Motor (Breite, Länge)
- Der Raum (Länge, Breite, Höhe)

Es bietet sich an zuerst alle Marker zu kleben und anschließend die Aufnahmen zu machen. In der ersten Skizze sind die Marker eingetragen, die zur Vermessung des Motors sowie zur Breite des Raums benötigt werden. **ACHTUNG:** Der eine Marker ist in beiden Skizzen vorhanden und extra gekennzeichnet. Es ist wichtig, dass dieser zwischen den Aufnahmen nicht verändert wird.



**Abbildung 68: Auszug aus der Anleitung des Photogrammetrie-Kits**

**3.1.1.5 MDT: Vergleich verschiedener Methoden zur weitgehend autom. Erzeugung der 3D-Planungsdaten**

**3.1.2 Technologiescreening Displaytechniken**

**3.1.2.1 Entwicklung Bewertungssystematik Displaytechniken**

Um szenariobasiert die bestgeeignete Displaylösung systematisch auswählen zu können, berechnet eine Auswahllogik nach vorgegebenen Kriterien eine Bewertung und eine Rangfolge von geeigneten Displaylösungen. Hierzu wurden Kriterien für die Hardware aufgestellt, die in die Kategorien Darstellung (Eignung zur Wiedergabe von 2D/3D-Informationen), Ergonomie (Händefreiheit, Transportierbarkeit, visuelle Belastung) und Technische Randbedingungen (Akkulaufzeit, Speicherplatz, physische Robustheit, Schnittstellen zur Datenübertragung) unterteilt sind. Potenziell geeignete Anzeigehardware ist in diesen Kategorien jeweils zu klassifizieren (bspw. ist die Händefreiheit von Brillen vollständig gegeben, Smart-

phones erfordern in der Regel eine einhändige Bedienung, während der Benutzer zur Bedienung eines Tablet-Computers beide Hände benötigt). Die Klassifizierung geschieht einmalig pro Hardware, wobei neu erscheinende Modelle oder Hardware-Klassen neu zu bewerten sind.

Im Anschluss folgt die Spezifikation des Szenarios mit der daraus erstellten Gewichtung (muss, soll oder kann) der Kriterien. Bspw. ist die Portabilität des Gerätes beim Einsatz in der Sektionsausrüstung der Meyer Werft wichtiger als in einer Rohrvorfertigung, wo ein Gerät arbeitsplatzgebunden eingesetzt wird. Aus den Gewichtungen berechnet die Auswahllogik eine Bewertung pro Gerät, nimmt jedoch nur solche Geräte auf, die alle Muss-Kriterien erfüllen. Die Rangfolge ergibt sich aus der Bewertung. Da eine enge Kopplung zwischen AR-Hardware, Betriebssystem und AR-Software festgestellt wurde, findet eine endgültige Auswahl in Kombination mit der in Arbeitspaket 3.1.3.1 erstellten Bewertungssystematik für AR statt.

### ***3.1.2.2 FSG: Detaillierung der Anforderungen für den Ersatz von Dokumenten und Zeichnungen durch 3D-Visualisierung***

#### **3.1.2.3 Entwicklung prototypischer User-Interfaces für versch. Displaylösungen**

Für die Entwicklung prototypischer User-Interfaces müssen zunächst Anforderungen an deren Inhalte und Interaktionsmöglichkeiten feststehen. Hierzu wurden bei den Industriepartnern FSG, MDT und MW szenariospezifisch aufgenommen, welche Daten die User-Interfaces darstellen sollen und auf welche Weise die Bediener mit den Geräten interagieren sollen. Anschließend wurden die unterschiedlichen Geräte auf die Fähigkeit, diese Anforderungen zu erfüllen, untersucht.

Die dazu entworfenen User-Interfaces dienen der generellen Untersuchung der Bedienbarkeit der Geräte im Hinblick auf den Kenntnisstand der Zielgruppen mit neuen Informationsmedien (z. B. Auffassung der Interaktionsmöglichkeiten, Motorik), die Umgebungsanforderungen (z. B. Bedienung mit Handschuhen oder arbeitsbedingt nicht sauberen Händen), Bedienkomfort und -produktivität (z. B. Geschwindigkeit der Bedienung). Dem Design der User-Interfaces lagen die von Jo Ann T. Hackos aufgestellten vier Prinzipien für das Design von User-Interfaces (Aktionsorientierung, Verankerung der Werkzeuge im Aufgabengebiet, Abfangen und Vermeiden von Fehlbedienungen, kontext- und aufgabenbezogene Hilfestellung) zugrunde.

Bei einem abschließenden Test stellte sich heraus, dass in den wesentlichen Belangen in der Hand gehaltene Geräte (Tablets, Smartphones, Laptops) solchen Geräten überlegen sind, die am Kopf befestigt sind (Head Mounted Displays, Smartglasses). Dies ergibt sich hinsichtlich der Bedienbarkeit vor allem aus der intuitiveren Bedienung über Touch-Display bzw. die gewohnte Eingabe über Maus und Tastatur. Es zeigte sich allerdings auch, dass am Kopf befestigte Geräte vor allem dann einen Vorteil in der Bedienung aufweisen, wenn ausschließlich



wenige diskrete Bedienbefehle erforderlich sind (bspw. ein Weiterschalten in der Montage-reihenfolge), die sich über Tasten abdecken lassen. Dieser Vorteil erlischt jedoch, sobald zu viele diskrete Eingaben (bspw. Texterstellung) oder kontinuierliche Eingaben erforderlich sind (bspw. Bewegen von 3D-Objekten). Die in den folgenden Abschnitten abgebildeten Be-nutzerschnittstellen beziehen sich aus diesem Grund ausschließlich auf Tablet-Computer und Smartphones. Die Verwendung von Brillen wurde dabei parallel prototypisch verfolgt, jedoch sind Abbildungen der Benutzerschnittstellen – vor allem bei Optical-See-Through-Geräten – technologiebedingt nicht darstellbar.

### 3.1.2.4 FSG: Prüfung der Praxistauglichkeit von Anzeigegeräten

### 3.1.3 Technologiescreening AR

#### 3.1.3.1 Entwicklung Bewertungssystematik AR

Die Bewertungslogik aus Arbeitspaket 3.1.2.1 deckt die Anforderungen an die Hardware ab. Sie wurde in diesem Arbeitspaket erweitert um die Aspekte des Betriebssystems, genutzter und verfügbarer Bibliotheken und die verwendete AR-Software. Hierbei bleibt das Grund-schema der Bewertung bestehen. Die Anforderungen an das Betriebssystem und die ver-wendete AR-Software sind wieder in den Kategorien Darstellung, Schnittstellen, Sicherheit, Programmiersprachen, Peripherie, Bibliotheken und Speicher aufgeteilt. Die AR-Software enthält zusätzlich noch die Kategorie Tracking. Ebenfalls wurde die Hardware-Bewertung um sogenannte Modifikatoren (bspw. Arbeitshandschuhe, Zusatzakku, Schutzhüllen) erweitert, die den Umgang mit der AR-Lösung und damit auch die Bewertung beeinflussen. Abbildung 69 zeigt das Schema auf, nach dem die Bewertung stattfindet.

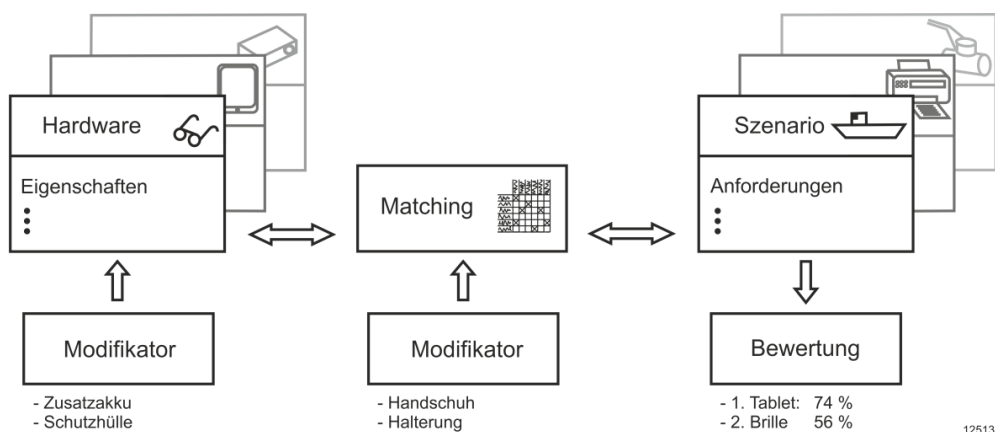


Abbildung 69: Bewertungsschema für AR-Geräte, Betriebssysteme und Software

### 3.1.3.2 MW: Nutzungsanforderungen für AR in der getakteten Unikatfertigung

### 3.1.3.3 MDT: Nutzungsanforderungen für AR beim Retrofit

### 3.1.3.4 Entwicklung prototypischer AR-Varianten, Teil 1

Zur Darstellung der unterschiedlichen Informationen der AR-Szenarien wurden mehrere Prototypen entwickelt. Den Prototypen liegt das Metaio SDK zugrunde, in dem die Basisfunktionalitäten für Tracking und Anzeige enthalten sind. Sie sind für das Betriebssystem Android in der Programmiersprache Java programmiert. Zunächst entstand ein AR-Grund-Prototyp, der alle benötigten Elemente wie Tracking, das Laden von Modellen und die Anzeige enthält. Ein Screenshot des Prototyps ist in Abbildung 70 zu sehen. Der Prototyp stellt geladene Modelle im korrekten Maßstab und korrekter Orientierung auf einem Marker dar und blendet diese schrittweise ein. Er kann Modelle aus unterschiedlichen Quelldaten laden, die mit den Testdatensätzen der FSG, der Meyer Werft und MDT verifiziert wurden.



Abbildung 70: Screenshot des AR-Grund-Prototyps

Aus dem Grundprototyp entstanden zwei szenariospezifische Prototypen: die Digitale Arbeitsunterlage, die für Werker Informationen in AR darstellt, und die Angebotsvisualisierung, die bei der Angebotserstellung des Retrofits verschiedene Umbauvarianten darstellt. Abbildung 71 zeigt die Verquickung der AR-Prototypen. Beide AR-Prototypen haben im Ziel unterschiedliche Nutzergruppen und einen anderen Fokus, der sich in der Art der Bedienung und Anzeige niederschlägt. Die Bedienung der Digitalen Arbeitsunterlage ist auf die ständige Nutzung mit starkem Augenmerk auf Produktivität während Montageprozessen ausgelegt und die Anzeige auf möglichst schnell verständliche Vermittlung der Montageinformationen. Die Angebotsvisualisierung hingegen ist für die sporadische Nutzung durch Experten vorgesehen, wodurch komplexere Bedienvorgänge und eine fortgeschrittene Bedienoberfläche möglich sind.

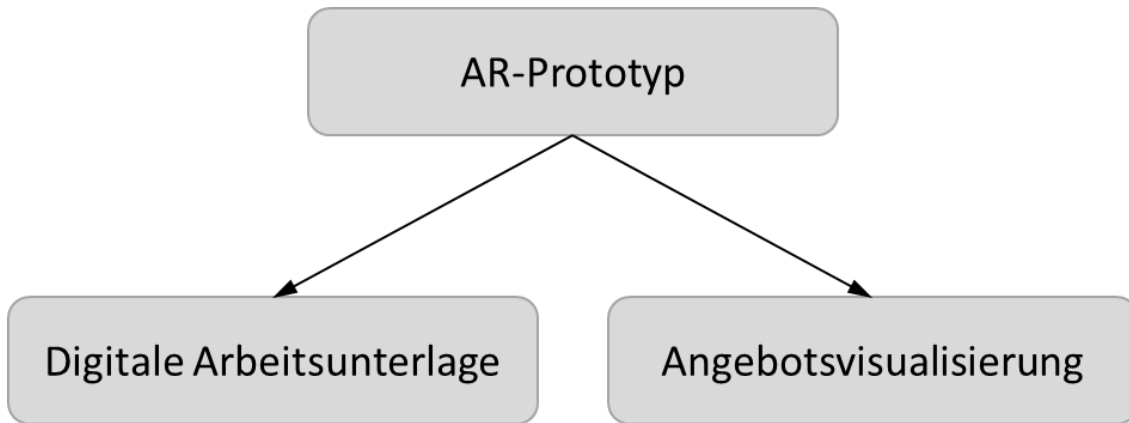


Abbildung 71: Entstehungshistorie der AR-Prototypen

### 3.1.3.5 Entwicklung prototypischer AR-Varianten, Teil 2

#### Digitale Arbeitsunterlage

Zusätzlich zu der Datenanbindung des Grundprototyps zum Laden der Modelldaten enthält die Digitale Arbeitsunterlage die Möglichkeit, Metadaten wie Lieferzeitpunkte, Arbeitspaket- oder Rohrstrangzugehörigkeit zu den Bauteilen aufzurufen. Es steht eine Basisfunktionalität bereit, die die Metadaten aus dem Gerätespeicher lädt und eine erweiterte Datenanbindung, die die Bauteil- und Metadaten aus einer zentralen Datenquelle wie etwa einem Server mit IPMT-Middleware bezieht.

Für die arbeitsschrittgerechte Informationsversorgung wurden in der Digitalen Arbeitsunterlage die Filteralgorithmen aus dem BMWi-Verbundprojekt POWER-VR für mobile Geräte adaptiert, sodass Bauteile auf Basis der Metadaten selektiv darstellbar sind.



Abbildung 72: Filterung der 3D-Geometrie für die arbeitsschrittspezifische Anzeige

#### Variantenplanung

Die Variantenplanung enthält zunächst ein auf Kantenmodellen basiertes Tracking. Abbildung 73 zeigt ein Beispiel, in dem die Anwendung auf ein Schiffsabgasschachtmodell (ein maßstabsgetreuer 3D-Druck) die innenliegenden Abgasrohre zusammen mit dem einzubauenden SCR-Modul als „Röntgenblick“ einblendet. Der Prototyp enthält weiterhin Interakti-

öglichkeiten, um das SCR-Modul im Abgasschacht frei zu positionieren. Dies geschieht über Touch-Gesten: Mit einem Finger lässt sich das SCR-Modell berühren und verschieben.



**Abbildung 73: Einblendung von Geometrie in ein Miniaturmodell**

## Tracking

Neben den Anzeigetechnologien ist das Tracking, der Abgleich zwischen den Koordinatensystemen der realen Umgebung und der virtuellen einzublendenden Objekte, ein wesentlicher Bestandteil einer AR-Lösung. Da dieses allen Prototypen gemeinsam als Basis dienen sollte, wurden Trackingverfahren zunächst eingehend untersucht und im Hinblick auf deren Verwendbarkeit in den jeweiligen Szenarien in der getakteten Sektionsausrüstung und dem Retrofit bewertet. Für eine Generalisierung wurde auch berücksichtigt, dass der später entwickelte AR-Prototyp ebenfalls in anderen Szenarien, wie bspw. einem stationären Arbeitsplatz in der Rohrvorfertigung eingesetzt werden könnte, wo andere Kriterien für die Trackingmethoden von Relevanz sind.

Abbildung 74 gibt einen Überblick über die Trackingverfahren. Diese sind kategorisiert nach der Art der Positionsermittlung für die verwendeten Marken – diese können entweder a priori vermessen und präzise angebracht werden oder a posteriori genau vermessen werden – und der Art der Merkmale (künstlich oder natürlich in der Umgebung vorhanden). Zusätzlich können Merkmale Informationen enthalten, die eine direkte Identifikation für das Tracking ermöglichen (bspw. eine kartesische Koordinate in einem QR-Code-Marker).

Ausgewählte Trackingverfahren wurden getestet und teilweise in die Prototypen integriert. Neben der Erweiterung der üblichen Verfahren für die Szenarien über künstliche Marker wurden zwei geometriebasierte Methoden getestet: die Extraktion von natürlichen Features aus Laserscans der Umgebung und ein Abgleich zwischen einem 3D-CAD-Modell und Bildern einer 3D-Kamera (Microsoft Kinect).

	Position der Marken	Art	Information	Variante
Tracking	vorgegebene Marken	künstlich	mit	aufgedruckte Marker
			ohne	aufgedruckte Symbole
		natürlich	ohne	Kanten aus CAD-Modell
	vermessene Marken	künstlich	mit	aufgeklebte Marker
			ohne	
		natürlich	mit	Punkt-Features
			ohne	Kanten aus Laserscan

**Abbildung 74: Vergleich bestehender (blau) und neuer (grün) Trackingverfahren**

Beide Verfahren haben zwar Vorteile gegenüber herkömmlichem Tracking über künstliche Marker, benötigen allerdings einige Voraussetzungen. Im ersten Verfahren mit Laserscandaten ist das Verfahren darauf angewiesen, dass sich die Umgebung nicht in hohem Maße verändert und dadurch Features verloren gehen. Das zweite Verfahren setzt eine sehr geringe Differenz zwischen dem As-Designed-Zustand und dem As-Built-Zustand voraus. Bei beiden Verfahren ergibt sich ein hoher Forschungsbedarf, da die bestehenden Algorithmen weder der Größe der Umgebung noch einer möglichen Veränderung von Objekten gerecht werden. Für den Produktiveinsatz ist eine in die Anzeigehardware integrierte 3D-Kamera aus ergonomischen Gründen unerlässlich.

**3.1.3.6 MW: Prüfung der Praxistauglichkeit von Anzeigegeräten mit Testdatensatz**

**3.1.3.7 MW: Prüfung der Praxistauglichkeit von Trackingverfahren mit Testdatensatz**

**3.1.3.8 MDT: Prüfung der Praxistauglichkeit für Retrofit mit Testdatensatz**

**3.1.3.9 MW: Prüfung der Praxistauglichkeit von Anzeigegeräten mit Realdaten**

**3.1.3.10 MW: Prüfung der Praxistauglichkeit von Trackingverfahren mit Realdaten**

**3.1.3.11 MDT: Prüfung der Praxistauglichkeit für Retrofit mit Realdaten**

**3.1.3.12 MDT: Auswahl und Bewertung der benötigten Verfahren zur CAD-unterstützten Erfassung nicht ausreichend dokumentierter Maschinenraumumgebungen**

## 3.2 Vor-Ort-Einsatz

### 3.2.1 Digitale Arbeitsunterlagen für den mobilen Einsatz der zeichnungsfreien Informationsversorgung

#### 3.2.1.1 Entwicklung der mobilen zeichnungsfreien Datenanzeige

Für die FSG wurde in diesem Arbeitspaket ein Umsetzungsleitfaden für die Entwicklung der mobilen zeichnungsfreien Datenanzeige erstellt. Da sich drei Varianten für das System ergaben, geht der Umsetzungsleitfaden ebenso auf die Variantenauswahl ein und stellt damit sicher, dass die Variante in der Entwicklung bevorzugt wird, die den Anforderungen im Real-einsatz am besten gerecht wird. Die Varianten setzen sich zusammen aus:

- Variante I: Eine mobile Lösung, die auf der bestehenden FSG-Software DigiMAus aufsetzt und über eine ständige Drahtlosverbindung mit der Datenbasis kommuniziert
- Variante II: Eine mobile Lösung, die auf der bestehenden FSG-Software DigiMAus aufsetzt und die Daten arbeitspaketweise zu Arbeitsbeginn und nach Abschluss der Arbeit mit der Datenbasis synchronisiert
- Variante III: Eine mobile Lösung, die auf der im AR-Szenario zu entwickelnden Digitalen Arbeitsunterlage aufsetzt und die Daten arbeitspaketweise zu Arbeitsbeginn und nach Abschluss der Arbeit mit der Datenbasis synchronisiert

Für alle drei Varianten wurden die notwendigen Schritte zur Umsetzung festgelegt und jeweils Aufwände abgeschätzt sowie die Vor- und Nachteile verglichen. Varianten I und II bieten den Vorteil, auf einer bestehenden Lösung aufzusetzen, sodass sich bereits in einer frühen Phase der Umsetzung Erfolge messen und die Lösung beurteilen lassen. Bei Variante I entfällt der Entwicklungsaufwand für die Synchronisation zwischen Mobilgerät und Datenbasis. Weiterhin ist die Datenbasis auch während Arbeitspakete von einem Mitarbeiter ausgecheckt sind, konsistent und aktuell. Es können sich allerdings vor allem bei Arbeiten im Schiffsrumpf Probleme ergeben, wenn keine Drahtlosverbindung verfügbar ist. Für Variante II ergibt sich entsprechend die Notwendigkeit Arbeitspakete nach Abschluss der Arbeit zu synchronisieren und ein Transferformat für Arbeitspakete zu implementieren. Weiterhin wäre die Verfügbarkeit der Informationen nicht gewährleistet, wenn der Mitarbeiter nicht alle benötigten Arbeitspakete vor Arbeitsbeginn auf das Gerät lädt. (Es ist zu erwarten, dass Variante I den Ausbau der Drahtlosverbindungen im Unternehmen zur Folge hat, sodass sich eine höhere Verfügbarkeit der Informationen ergäbe.) Variante III bietet vor allem Vorzüge bei der Benutzerfreundlichkeit, da sie eine Anwendung als Basis verwendet, die von vornherein auf die Benutzerzielgruppe und die Benutzungsbedingungen ausgelegt wird.

Als Ergebnis zeigt sich eine Präferenz für Variante II mit Variante III als Ausweichlösung. Die notwendigen Schritte für eine Umsetzung wurden wie folgt festgelegt:

- 1) Allgemeine Machbarkeitsuntersuchung mit dem Ziel festzustellen, ob die Basis-Software sich so erweitern lässt, dass eine benutzerfreundliche und damit produktive Bedienung durch die Zielgruppe möglich ist
- 2) Entwicklung der Datenschnittstellen zum Export der Arbeitspakete für die aktivitätenspezifische Informationsversorgung sowie zur Synchronisation der Daten nach Abschluss der Arbeit
- 3) Definition und Entwicklung der Benutzeroberfläche in einem iterativen Verfahren, in dem Mitglieder der Benutzerzielgruppe Einfluss nehmen können, zur Gewährleistung der Zielorientiertheit der Anwendung für den Praxiseinsatz
- 4) Entwurf eines Sicherheitskonzeptes für sensible Daten auf mobilen Endgeräten

### ***3.2.1.2 FSG: Spezifikation der Schnittstellen***

### ***3.2.1.3 FSG: Handlungsleitfaden für die geräteabhängige Informationskonvertierung***

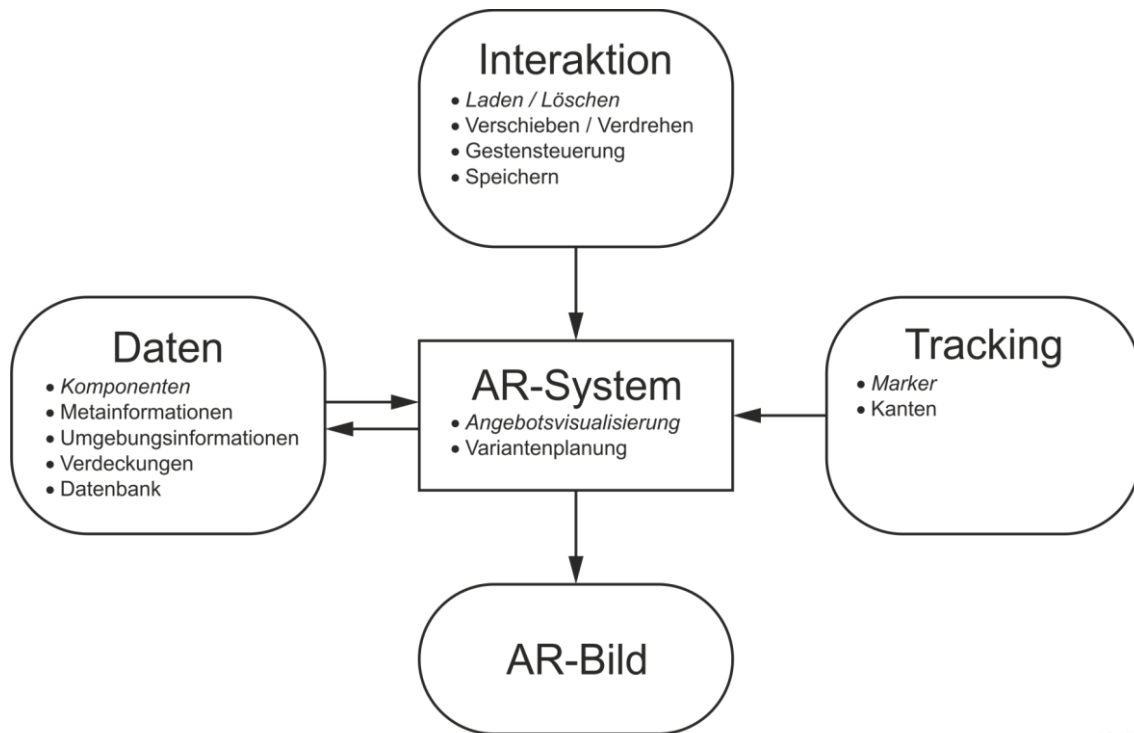
### ***3.2.1.4 FSG: Leitfaden für die Implementierung einer schrittweisen Informationsbereitstellung***

### ***3.2.1.5 FSG: Leitfaden für die Implementierung einer kontextbasierten Steuerung***

## **3.2.2 Digitale Arbeitsunterlagen für den mobilen Einsatz im Retrofit**

### **3.2.2.1 Entwicklung von mobilen (AR-)Prototypen; 1. Version**

Aufbauend auf den in Arbeitspaket 3.1.3.4 entwickelten Prototypen wurde ein Softwaredesign für die Angebotsvisualisierung entworfen. Dieses dient als Basis für die Prototypen Angebotsvisualisierung (Phase I) und Variantenplanung (Phase II). Es besteht, wie die Digitale Arbeitsunterlage auch mehreren Software-Modulen, die zusammen die Funktionalität für das AR-System bereitstellen. Abbildung 75 stellt das Design der Prototypen dar. Sie bestehen aus der Datenanbindung, der Interaktion zur Steuerung der Anzeige, dem Tracking, das mit Markerkonfigurationen und Kantenmodellen arbeitet, und der grafischen Ausgabe des AR-Bildes an den Benutzer. Zielgruppe beider Anwendungen sind Mitarbeiter des Generalauftragnehmers. Die Angebotsvisualisierung soll bereits in der frühen Phase des Retrofitprozesses dazu dienen, dem Kunden die später einzubauenden Komponenten direkt vor Ort am Schiff zu visualisieren, um ihm einen ersten Eindruck von den Anstehenden Veränderungsmaßnahmen zu geben. Als Basis für die Ausrichtung der Geometrie in der Umgebung dient ein Markertracking. Der Mitarbeiter des Generalauftragnehmers positioniert den Marker an einer eindeutigen Stelle im Bereich, der von den Modifikationen betroffen ist, bspw. an der Wand des Abgasschachtes. Die im Koordinatensystem des Markers vorkonfigurierten Retrofit-Komponenten blendet das System nun in das Kamerabild ein. Zum weiteren Ausrichten der Komponenten bewegt der Mitarbeiter zunächst den Marker.



12572

**Abbildung 75: Softwaredesign für Angebotserstellung und Variantenplanung**

Es lassen sich verschiedene Konfigurationen von Komponenten in die Applikation laden, so dass der Mitarbeiter dem Kunden den Inhalt unterschiedlicher Angebote präsentieren kann. Die Anwendung wurde an einem Realbeispiel getestet. Hierzu wurden in Kooperation mit MDT Konfigurationen anhand der vorher entstandenen 3D-Ist-Geometrie-Aufnahmen erstellt und an Bord eines Schiffes zur Visualisierung eines möglichen Angebots eingeblendet.

### 3.2.2.2 Entwicklung von mobilen (AR-)Prototypen; Überarbeitung Teil 1

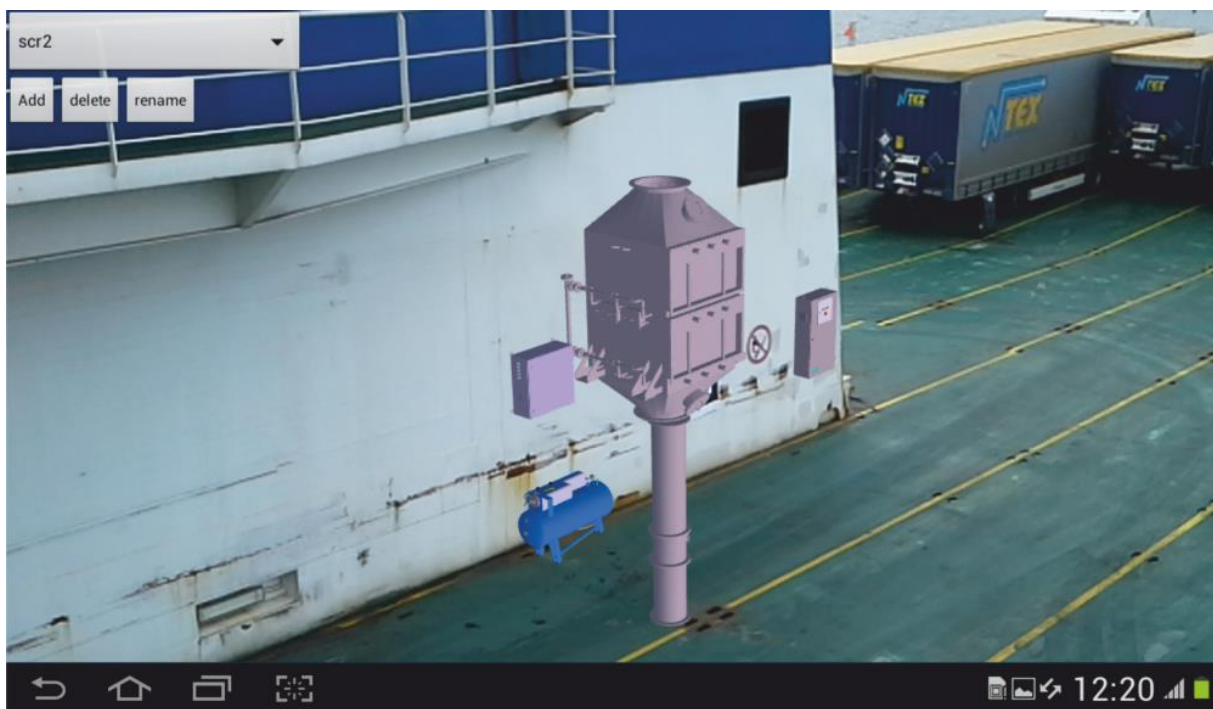
Für die Phase II der Angebotserstellung wurde auf Basis der Angebotsvisualisierung der Prototyp Variantenplanung erstellt. Er enthält über die reine Präsentation der vorkonfigurierten Komponentenarrangements hinaus Interaktionsmöglichkeiten, um eine Aufstellung und Beurteilung von Einbauvarianten vor Ort zu ermöglichen. Dies wurde in der Evaluation des ersten Prototyps als Anforderung seitens der potenziellen Kunden festgestellt, die an der Konfiguration der Komponenten mitwirken wollten. Hierbei wurden neue Bedienkonzepte geschaffen, da sich die dynamische Positionierung der Objekte, vor allem wegen systembedingten dreidimensional-optischen Täuschungen, als Herausforderung darstellte. Die Bedienkonzepte umfassen eine Gestensteuerung, die auf die Anforderungen bei der Positionierung der Objekte vor Ort zugeschnitten ist. Im Einzelnen bedeutet dies:

- Der Benutzer kann eines oder mehrere Bauteile auswählen, die er mittels der Gestensteuerung ausrichten möchte.
- Die Bauteile können rotiert oder verschoben werden. Eine Skalierung ist nicht erlaubt, da es sich in der Regel um Bauteile mit vorgegebener Größe handelt.



- Zunächst wählt der Benutzer die Achse durch ein kurzes Tippen auf das Display mit zwei Fingern aus.
- Für die Translation der Bauteile bewegt er beide Finger in die gleiche Richtung (oben oder unten), um die Bauteile entlang der gewählten Achse zu verschieben.
- Für die Rotation um die Achse bewegt er beide Finger in unterschiedliche Richtungen (oben/unten bzw. unten/oben).

Der Vorteil der Translation entlang und der Rotation um vorgegebene Achsen hilft, die Orientierung nicht zu verlieren, da der 2D-Bildschirm der Geräte kein vollständiges Feedback über Tiefeninformationen liefert (i. e. ein kleines nahes Objekt lässt sich in der Darstellung nicht von einem großen entfernten unterscheiden). Abbildung 76 verdeutlicht dies. Die Objekte befinden sich geometrisch innerhalb des Abgasschachtes, scheinen jedoch mangels Tiefeneindruck auf dem Außendeck zu stehen bzw. an der Außenwand montiert zu sein.



12573

Abbildung 76: Screenshot des Prototyps mit eingeblendeten SCR-Komponenten

### 3.2.2.3 Entwicklung von mobilen (AR-)Prototypen; Überarbeitung Teil 2

Der Prototyp für die Variantenplanung (Phase II) wurde in einigen Bereichen erweitert. Vor allem für den realistischen optischen Eindruck stellte es sich als hilfreich heraus, sogenannte Occlusion-Modelle zu verwenden. Diese ermöglichen es, obwohl das Kamerabild keine Tiefeninformationen über die Umgebung liefert, pro Bildpunkt zu entscheiden, ob eine einzublendende Geometrie (bspw. ein SCR) das Kamerabild überlagern soll, oder ob sich die im Kamerabild befindlichen Objekte vor dem einzublendenden virtuellen Objekt befinden. Abbildung 76 **Fehler! Es wurde kein Textmarkenname vergeben.** verdeutlicht diesen Sachver-

halt grafisch. Während im Bild links ohne Occlusion-Modelle der Eindruck entsteht, die Abgasrohre würden oberhalb der Plattform verlaufen, zeigt das Bild rechts unter Verwendung von Occlusion-Modellen die tatsächliche geometrische Anordnung der Objekte. Zur einfachen Einbindung der Occlusion-Modelle, die aus der aufgenommenen oder bereits vorhandenen 3D-Ist-Geometrie abgeleitet werden, wurde eine Systematik entworfen, die die geometrisch wesentlichen Merkmale, die für den korrekten Eindruck bei Verdeckungen sorgen, auswählt. Für den Prototyp wurde eine Exportfunktion geschaffen, die es ermöglicht, die in der Anwendung konfigurierten Varianten zu exportieren. Diese können als Planungsgrundlage bspw. in VR weiterverwendet werden. Es wurde zudem die Möglichkeit implementiert, Geometrien in der Variantenplanung mit einfachen Animationen zu versehen, sodass der Einbauvorgang greifbarer dargestellt wird.

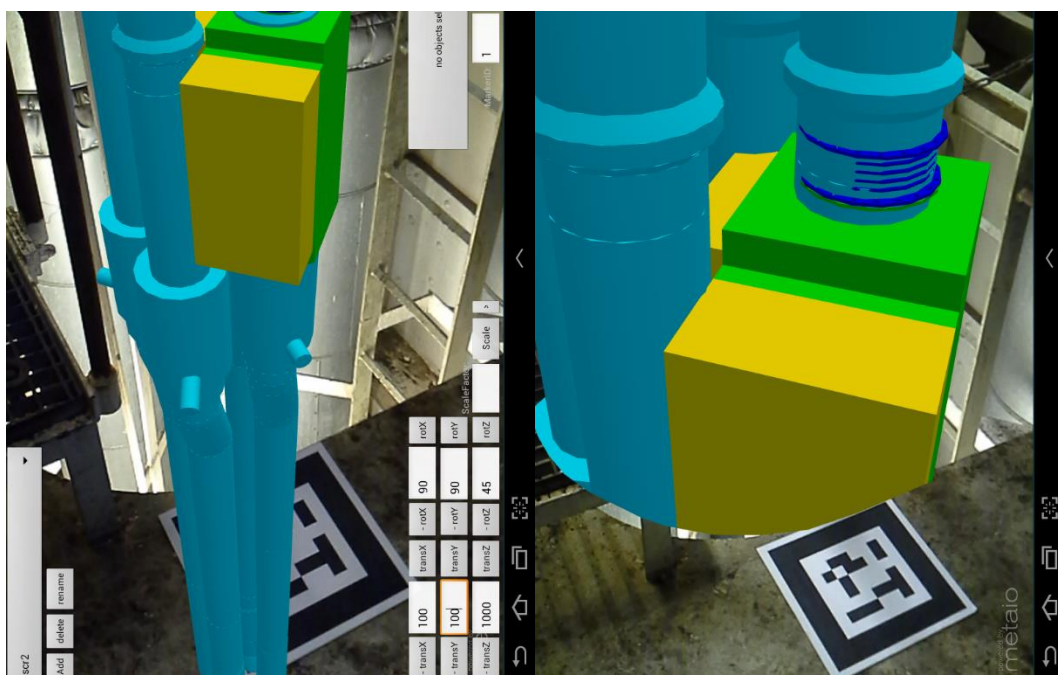


Abbildung 77: Einblendung eines SCR ohne (links) und mit Occlusion-Modellen (rechts)

### 3.2.2.4 MDT: Spezifikation von Schnittstellen zwischen Quell- und Zielsystemen

### 3.2.2.5 MDT: Geräteabhäng. Konvert. der Informationen

### 3.2.2.6 MDT: Bewertung verfügbarer mobiler Plattformen zur interaktiven Montagevorbereitung am Einsatzort

### 3.2.2.7 MDT: Herausarbeiten von AR-Verfahren / AR-Techniken

### 3.2.2.8 MDT: Erarbeitung von Systematiken für den Soll-Ist-Vergleich von Retrofits

### 3.2.3 Digitale Arbeitsunterlagen für den Vor-Ort-Einsatz in der getakteten Montage

#### 3.2.3.1 Entwicklung von AR-Prototypen für die getaktete Montage, Teil 1

Aufbauend auf dem in Arbeitspaket 3.1.3.5 entwickelten Prototyp für die Digitale Arbeitsunterlage wurde ein Systemdesign erschaffen, das aus Datenversorgung (über die IPMT-Middleware-Konnektoren), einem Grundmodul für die Datenanzeige, Tracking, Teilefilterung und Interaktion sowie modular einzubindenden Erweiterungen besteht. Erweiterungen sind hierbei Programmbausteine, die die Bedienung oder Datenaufbereitung für die Digitale Arbeitsunterlage erleichtern sollen und somit einen produktiven Einsatz ermöglichen. Als Erweiterungen kommen bspw. eine automatisch erzeugte Bemaßung, eine Arbeitsplanung/-einteilung vor Ort oder eine automatische Ansichtsauswahl in Betracht. Die AR-basierte Digitale Arbeitsunterlage enthält zudem einen CAD-Modus, in dem der Benutzer die Geometrieinformationen auch ohne Einblendung mit AR, bspw. außerhalb seiner Arbeitsumgebung, betrachten kann. Für diesen Modus sind alle in AR-Verfügbaren Interaktionsmöglichkeiten ebenfalls vorhanden. Abbildung 78 stellt das Systemdesign für die Digitale Arbeitsunterlage grafisch dar.

Ein erstes Design für die finale Benutzeroberfläche wurde aus den Ergebnissen mehrerer Befragungen der Mitarbeiter der Montage erstellt. In den Befragungen gaben die Mitarbeiter an, welche Fertigungsinformationen sie wie häufig verwendeten. Auf diese Weise konnte die Benutzeroberfläche so zugeschnitten werden, dass die Informationen, die die Mitarbeiter häufig benötigen möglichst einfach zugänglich und gut verständlich aufbereitet dargestellt sind.

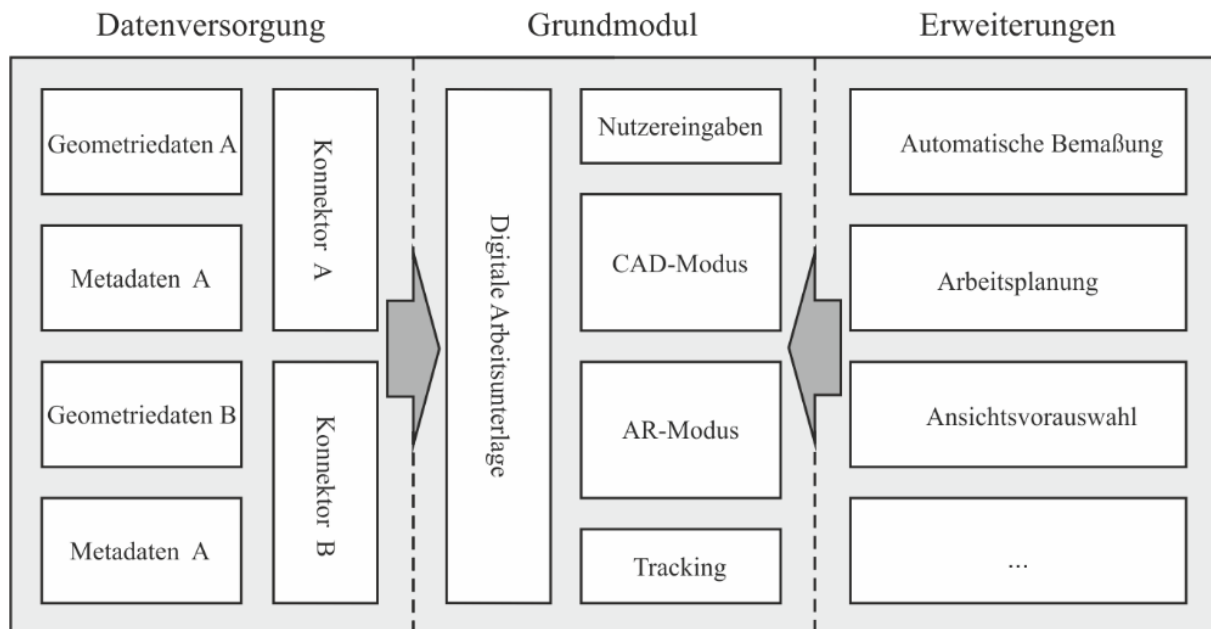


Abbildung 78: Systemdesign für die Digitale Arbeitsunterlage

### 3.2.3.2 Entwicklung von AR-Prototypen für die getaktete Montage, Teil 2

In diesem Arbeitspaket wurde der Prototyp aus AP 3.2.3.1 weiterentwickelt und ersten Vor-Ort-Tests unterzogen. Dazu wurde der Prototyp zunächst für die Verwendung des von der Meyer Werft entwickelten Trackingsystems über magnetisierte und automatisiert per 3D-Laserscanner vermessene Positionsmarken mit aufgeklebten Datamatix-Codes mit Positionsinformationen vorbereitet, das einen produktiven Einsatz in der Testumgebung gewährleisten soll. Das Design der Benutzeroberfläche und Informationsanzeige wurde finalisiert. Es enthält folgende Elemente:

#### **3D-Ansicht**

Den Hauptteil des Bildschirms nimmt die 3D-Ansicht ein – entweder in Form des AR-Modus mit Überblendung des Kamerabildes oder im CAD-Modus als 3D-Viewer. Die Anzeige passt sich im AR-Modus dem Tracking an, folgt also den Bewegungen des Gerätes. Im CAD-Modus (vgl. Abbildung 79) steuert der Benutzer die Ansicht mit Touch-Gesten, um das 3D-Modell seinen Wünschen entsprechend auszurichten. Über die Felder der einzelnen Bauteile lassen sich weitere Informationen zu diesen abrufen; bspw. Metadaten wie Rohrdurchmesser oder Materialien oder Zusatzdokumente wie Einbauanleitungen.

#### **Bauteilliste**

Die Bauteilliste gibt einen Überblick über alle im geladenen Arbeitspaket zu verbauenden Teile bzw. alle auszuführenden Arbeitsschritte. Sie zeigt gleichzeitig den Verbaustatus der einzelnen Teile an. Der Benutzer wählt durch Antippen eines Elements in der Bauteilliste das Bauteil aus, das daraufhin in der AR-/CAD-Ansicht dargestellt wird. Pro Bauteil können Werker den Einbau bestätigen, woraufhin die Bauteilliste zum nächsten Bauteil springt, oder Fehler melden (bspw. das Fehlen des Bauteils oder Kollisionen beim Einbau).

#### **Inhaltsauswahl**

Die Ansichtsauswahl erlaubt es dem Benutzer schnell Inhalte für die 3D-Ansicht aufzurufen. Es lässt sich so der finale Status der Umgebung (im Beispiel der Endzustand bei vollständiger Ausrüstung der Sektion) oder das Gesamte Arbeitspaket anzeigen. Ebenso kann der Benutzer Zusatzinformationen selektiv einblenden und sich die Bemaßung, Halterbereiche oder Freiflächen anzeigen lassen.

#### **Ansichtsauswahl**

Die Ansichtsauswahl ermöglicht dem Benutzer im CAD-Modus einen Schnellzugriff auf vordefinierte Ansichten (von oben, unten, links, rechts, vorn und hinten), die er mit einem drücken auf die entsprechende Schaltfläche aufrufen kann. Im AR-Modus dient die Schaltfläche zum Einfrieren des Trackings. Hierdurch lässt sich das Gerät ablegen, wobei die letzte Trackingposition und damit die vom Benutzer eingestellte Ansicht erhalten bleibt. Die Interaktionsmöglichkeiten (bspw. das Einblenden weiterer Inhalte) sind weiterhin gegeben.

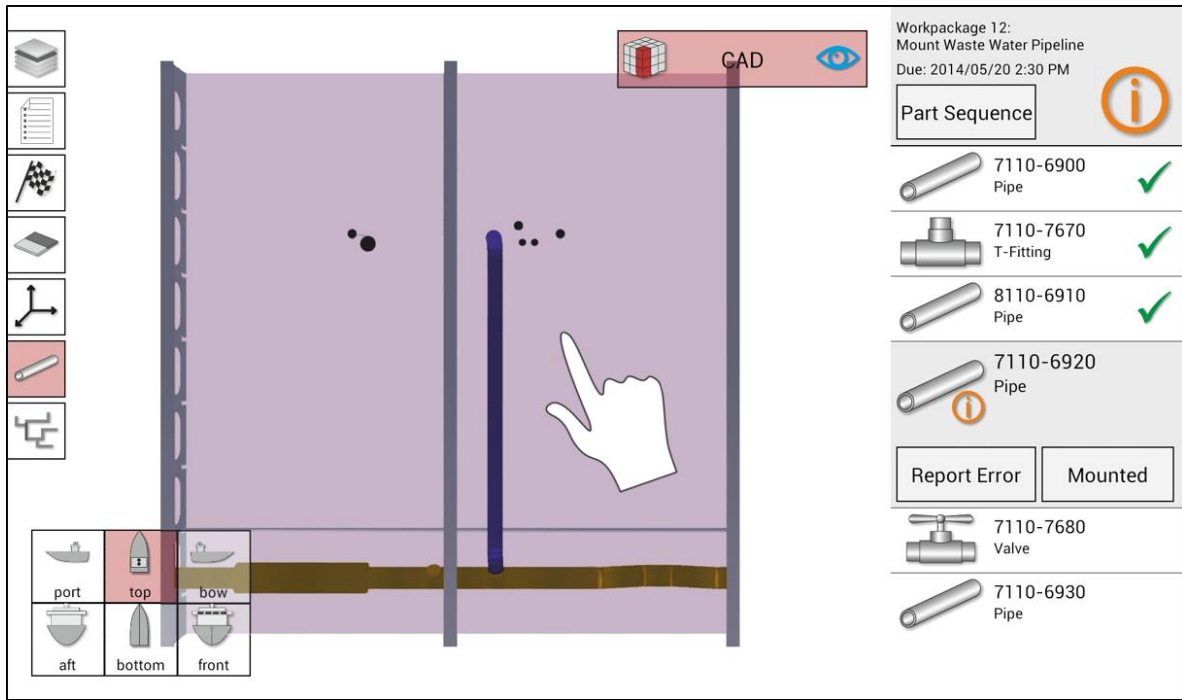


Abbildung 79: Screenshot des CAD-Modus mit Testdatensatz der Meyer Werft

Die von der Meyer Werft bereitgestellte Testumgebung wurde verwendet, um den dazugehörigen Datensatz mit AR anzuzeigen und das Gesamtsystem zu testen. Es wurde hierbei auch einer Gruppe von Werkern vorgestellt, die zusätzliches Feedback zur Bedienbarkeit und der Praxistauglichkeit gaben. Abbildung 80 zeigt ein Beispiel für die AR-Einblendung des finalen Status der Umgebung beim Vor-Ort-Einsatz.

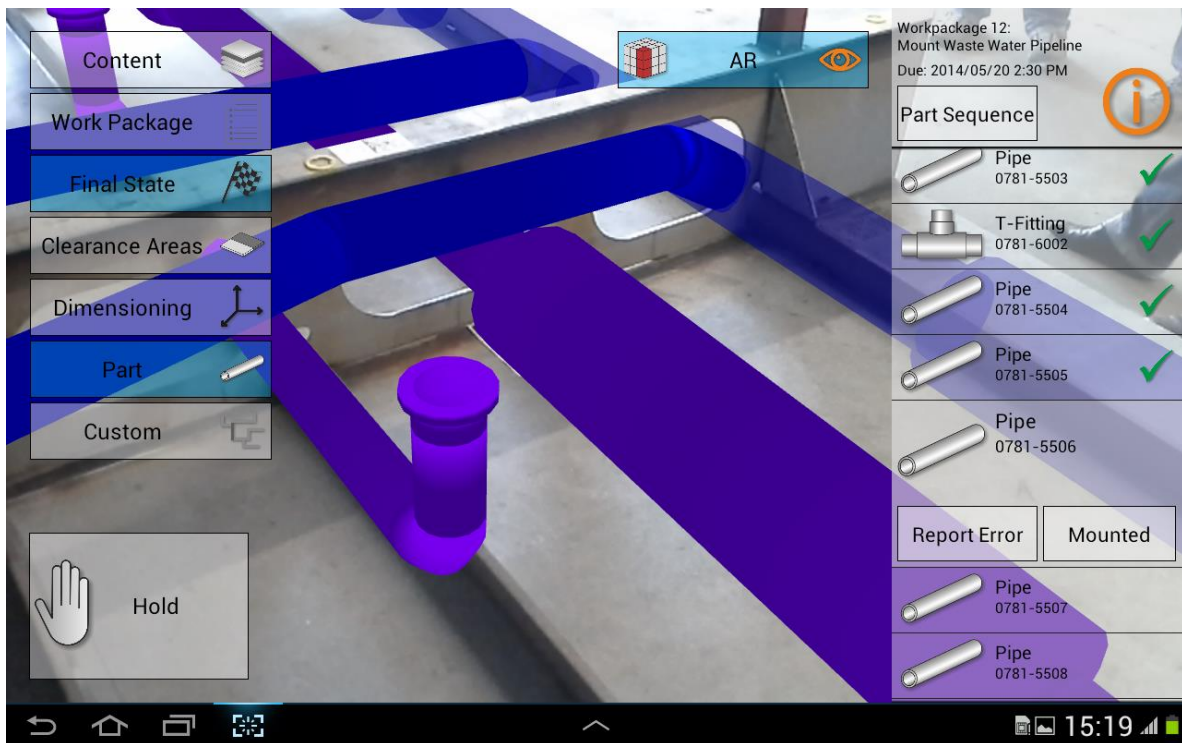


Abbildung 80: Screenshot aus dem Vor-Ort-Einsatz unter Verwendung von AR

### 3.2.3.3 Entwicklung von AR-Prototypen für die getaktete Montage, Teil 3

In diesem Arbeitspaket wurde der Prototyp Digitale Arbeitsunterlage weiterentwickelt und das aus den Vorstellungen des Prototyps bei der Meyer Werft gewonnene Feedback umgesetzt, um die Benutzbarkeit der Anwendung in der Praxis sicherzustellen. Die ersten Erweiterungsmodule wurden umgesetzt. Die automatische Erzeugung der für die Mitarbeiter der Fertigung relevanten Bemaßungen soll hierbei einen wesentlichen Produktivitätssprung gegenüber Papierzeichnungen und herkömmlichen 3D-CAD-Viewern wie etwa den bisher verwendeten stationären CAD-Terminals ermöglichen. Die Vorgehensweise ist dabei wie folgt: Die Arbeitsvorbereitung legt auf Basis von Regeln sogenannte Referenzbauteile fest, die die Werker typischerweise zum Messen verwenden. Im Beispiel der Sektionsausrüstung sind dies der Boden (bzw. die spätere Decke im fertigen Schiff) für das Messen in Richtung der Höhenachse und Spantenrahmen sowie koordinatenachsenparallele Wände für das horizontale Messen. Abbildung 81 zeigt die Referenzbauteile aufgeteilt nach Messrichtungen für das Beispielszenario. Auch wenn hier pro Bauteil jeweils nur eine Messrichtung angegeben ist, können Bauteile in vielen Fällen auch mehrere Richtungen abdecken.

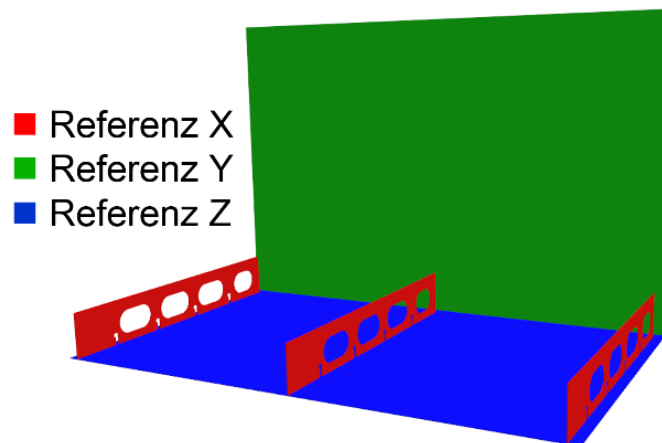
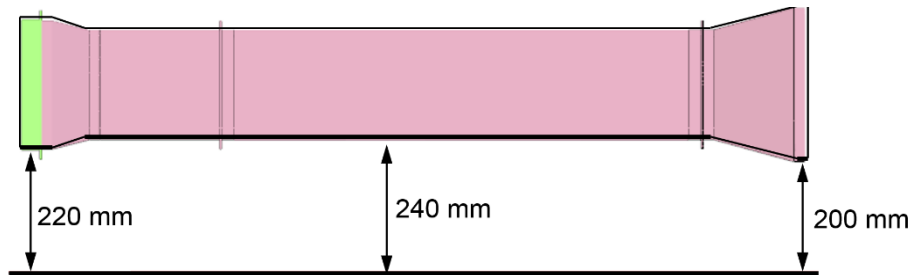


Abbildung 81: Referenzbauteile im Beispielszenario

Der auf dem AR-Gerät im Prototyp implementierte Algorithmus bearbeitet pro Referenz- und bemaßtem Bauteil die folgenden Schritte (vgl. Abbildung 82), um zu einer für den Werker aussagekräftigen Bemaßung zu gelangen:

- Projektion der Bauteile (Referenz und bemaßtes Bauteil) in die XY-, XZ- und YZ-Ebene
- Bestimmung der Umrisse (Außenkanten) der Bauteile
- Bestimmung paralleler Abschnitte sowie Ausbuchtungen, die am Bauteil einfach zu erkennen sind
- Berechnung der Abstände
- Filterung gleicher Abstände zur Vermeidung übermäßiger Bemaßung
- Berechnung der einzublendenden Geometrie (Maßpfeile und Textfeld)



**Abbildung 82: Beispiel für die automatische Erzeugung der Bemaßung**

Das umgesetzte Werker-Feedback enthielt unter anderem eine verbesserte Benutzerfreundlichkeit, vor allem bei der Intuitivität der Bedienfunktionen der Bauteilliste. Zudem enthält die Bauteilliste in dieser Ausbaustufe der Digitalen Arbeitsunterlage Miniaturansichten zu den einzelnen Bauteilen, die nicht wie bisher schematisch dargestellt sind, sondern direkt aus den 3D-CAD-Modellen der Bauteile erzeugt werden. Hierdurch lassen sich die in der Liste abgebildeten Bauteile schneller in der Realität erkennen.

Die Mitarbeiter schlugen zudem eine Verbesserung der Rückmeldung über den Tracking-Status vor. Diese wurde in den Prototyp integriert, sodass das Tracking den Benutzer über den Zustand (Tracking initialisiert, Tracking verfügbar, Tracking verloren) informiert und ihm die nächste Handlung vorschlägt (Datamatrix-Code scannen, Marker betrachten, zurückgehen zum Marker).

#### ***3.2.3.4 MW: Spezifikation von Schnittstellen zwischen Quell- und Zielsystemen***

#### ***3.2.3.5 MW: Geräteabhängige Konvertierung der Informationen***

#### ***3.2.3.6 MW: Konzept zur schrittweisen Informationsbereitstellung***

#### ***3.2.3.7 MW: Konzept zur kontextbasierten Steuerung der Informationsanzeige***

### 3.3 Technologieeinsatz im Szenario

#### 3.3.1 Technologieeinsatz der ZIV / Markierungssystematik im Szenario

##### 3.3.1.1 Entwicklung einer modularen Pflichtenheftsystematik (Komponenten zur ZIV)

Die modulare Pflichtenheftsystematik teilt sich ein in die Hauptkategorien Hardware, Software und Prozessintegration. Die Pflichtenhefte lassen sich je nach Anwendungsfall konfigurieren. Für das Szenario Zeichnungsfreie Informationsversorgung wurden folgende Module festgelegt (Abbildung 83, die nicht verwendeten Module der Systematik sind jeweils in Grau dargestellt):

<b>1.</b>	<b>Hardware</b>
1.a	Tracking
1.b	Datenübertragung
1.c	Bedienung
1.d	Schnittstellen
<b>2.</b>	<b>Software</b>
2.a	Informationsdarstellung
2.b	Datenformate
2.c	Dokumentation
2.d	Interaktion
<b>3.</b>	<b>Prozessintegration</b>
3.a	Benutzungskonzept
3.b	Einführungsvorgehen
3.c	Prozessmodifikationen

Abbildung 83: Pflichtenheftkonfiguration für die ZIV

##### 3.3.1.2 Entwicklung einer modularen Pflichtenheftsystematik (Komponenten zur Markierungssystematik)

Die modulare Pflichtenheftsystematik teilt sich ein in die Hauptkategorien Hardware, Software und Prozessintegration. Die Pflichtenhefte lassen sich je nach Anwendungsfall konfigurieren. Für das Szenario Markierungssystematik wurden folgende Module festgelegt (Abbildung 84, die nicht verwendeten Module der Systematik sind jeweils in Grau dargestellt):



<b>1.</b>	<b>Hardware</b>
1.a	Tracking
1.b	Datenübertragung
1.c	Bedienung
1.d	Schnittstellen
<b>2.</b>	<b>Software</b>
2.a	Informationsdarstellung
2.b	Datenformate
2.c	Dokumentation
2.d	Interaktion
<b>3.</b>	<b>Prozessintegration</b>
3.a	Benutzungskonzept
3.b	Einführungsvorgehen
3.c	Prozessmodifikationen

Abbildung 84: Pflichtenheftkonfiguration für die Markierungssystematik

### 3.3.1.3 FSG: Erstellung Pflichtenheft zeichnungsfreie Informationsversorgung

#### 3.3.1.4 FSG: Erstellung Pflichtenheft Markierungssystematik

#### 3.3.1.5 Konfiguration ausgewählter Prototypen (ZIV), Teil 1

Für die Zeichnungsfreie Informationsversorgung entwickelte die FSG in den vorangegangenen Arbeitspaketen einen Software-Prototyp, der im Weiteren als DigiMAus2Go – in Anlehnung an die hauseigene auf dem Autodesk-Paket Navisworks fußende Software DigiMAus – bezeichnet ist. Für die Evaluation wurde ein Szenario aus dem Rohrbau der FSG ausgewählt. Der Prototyp wurde dahingehend konfiguriert, dass das 3D-Modell zusammen mit den entsprechenden Arbeitspaketen (FSG: Aktivitäten) sowie den Einbaudokumenten auf dem Tablet als Datenbank-Exporte bereitgestellt wurden, und damit offline verfügbar waren. Ziel war hierbei, auf dem Gerät das gesamte 3D-Modell des Schiffes verfügbar zu machen, um dem Werker eine verbesserte Orientierung zu ermöglichen. Gleichzeitig sollten die zu synchronisierenden Datenmengen möglichst weit reduziert werden. Dies bedeutete, dass ausschließlich die für das Arbeitspaket relevanten Informationen auf das Tablet übertragen wurden. Der konfigurierte Prototyp wurde Werkern präsentiert, um deren Wünsche und Anforderungen einfließen zu lassen. Die Werker sollten das ausgewählte Szenario mit dem Prototyp durchgehen und Feedback zu den einzelnen Bedienschritten liefern.

#### 3.3.1.6 Konfiguration ausgewählter Prototypen (ZIV), Teil 2

In diesem Arbeitspaket wurde zunächst das Feedback der Werker bezüglich der in Arbeitspaket 3.3.1.5 vorgestellten Konfiguration des Prototyps eingeholt, um weitere Verbesserungen daran durchführen zu können. Die Werker äußerten vor allem zur Benutzeroberfläche Feedback und brachten Verbesserungsvorschläge hinsichtlich der Bedienung hervor. Diese bezogen sich im Einzelnen auf:

### Montage von Rohrbauteilen

Die Werker schlugen vor, das Einscannen von Bar- oder QR-Codes auf den Bauteilen besser zugänglich zu machen. Dies wurde aufgenommen und als Schaltfläche in der Menüleiste verfügbar gemacht. Darüber hinaus sollten häufig abgerufene Informationen zu dem ausgewählten Bauteil (bspw. Gewicht, Schwerpunkt, zugehörige Zeichnung) besser verfügbar sein. Hierzu wurde ein Info-Bereich im unteren rechten Bereich der 3D-Ansicht geschaffen.

### Erfassen von Bemaßung

Die Werker schlugen eine bessere Differenzierung der Messpunkte vor. Es wurde der Wunsch geäußert, bei Rohrbauteilen zur Rohrmitte messen zu können, bei anderen, tendenziell rechteckigen Bauteilen zu den Außenflächen oder -kanten. Dies sollte ebenfalls in der visuellen Maßangabe deutlich gemacht werden.

### Zugriff auf Zusatzdokumente

Folgende Einsatzfälle wurden für die Konfiguration der Prototypen ausgewählt: Montage von Rohrbauteilen, Durchsicht des Arbeitspaketinhaltes, Erfassen von Bemaßung, Zugriff auf Dokumente.

Abbildung 85 zeigt die Prototyp-Oberfläche nach der Konfiguration in diesem Arbeitspaket.

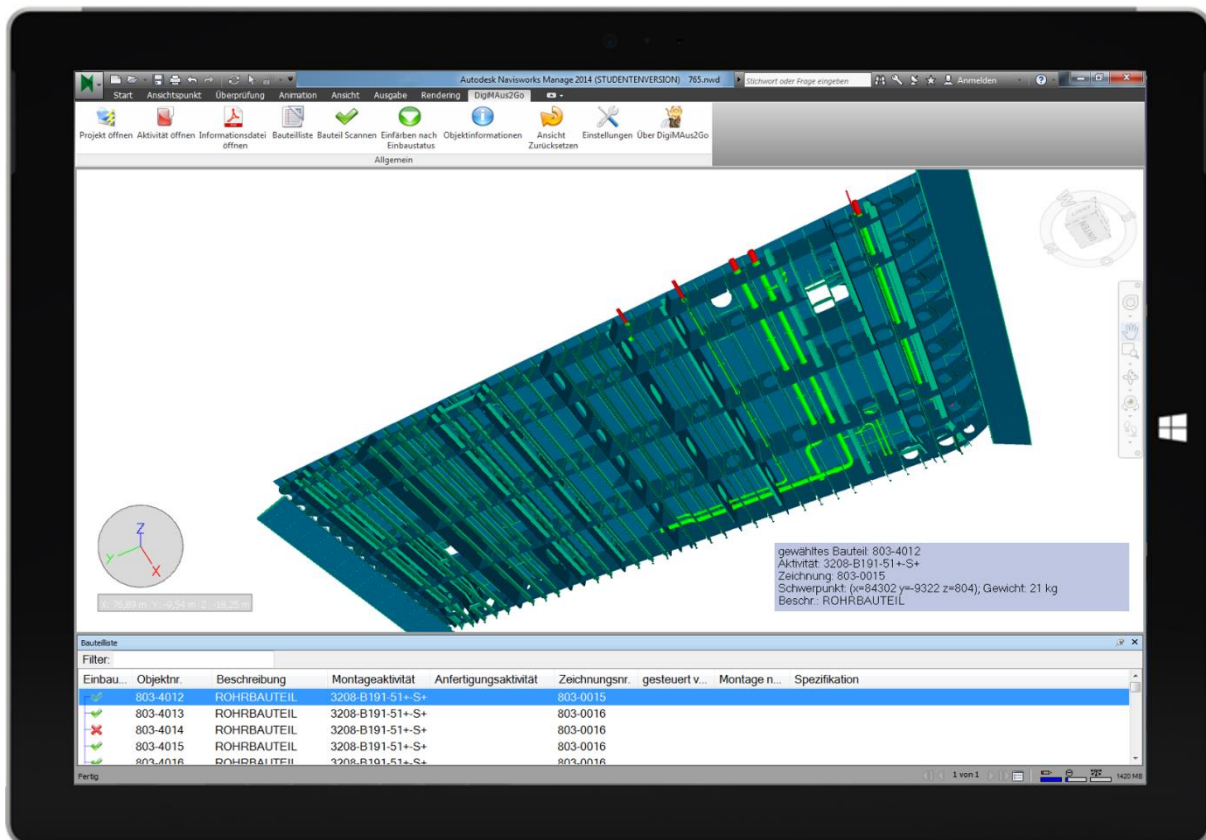


Abbildung 85: Oberfläche der DigiMAus2Go-Anwendung nach der Revision

### **3.3.1.7 FSG: Implementierung von Prototypen (ZIV)**

### **3.3.1.8 FSG: Implementierung von Prototypen (Markierungssystematik)**

### **3.3.1.9 Prozessintegrationssystematik**

Die Prozessintegrationssystematik wurde unter der Beachtung der Erfolgsfaktoren aus Beispielen für gescheiterte und erfolgreiche Innovationen und der bestehenden Vorgehensweisen entwickelt. Die entwickelte Einführungsstrategie beschreibt den Weg von einer fertig entwickelten Innovation bis zur Nutzung dieser Innovation innerhalb eines Betriebes. Es handelt sich dabei um eine theoretische Entwicklung, welche durch Modifikationen in die Realität übertragbar sein soll. Für konkrete Einführungsstrategien neuer Technologien müssen die einzuführende Innovation und das Unternehmen bekannt sein. Das hier entwickelte Konzept bietet eine Grundlage für spezifische Anwendungen. Im Zuge der Konzeptentwicklung werden die Phasen der Einführungsstrategie (grundlegende Planungen, Ist-Analyse, Zieldefinition, Festlegung der Einführungsparameter, Vorbereitung, Einführung und Evaluation) definiert, konkretisiert und miteinander in Bezug gebracht. Die Auswahl dieser Bereiche fand auf der Grundlage bestehender Einführungsmodelle statt und bietet eine Gliederung der Prozessintegrationssystematik. Eine Übersicht über das vollständige Modell ist in Abbildung 86 dargestellt. Im Folgenden sind die einzelnen Phasen näher erläutert.

#### **Grundlegende Planung**

Die gesamte Planung für die Einführungsstrategie wird in grundlegende Planung und Feinplanung unterteilt. Die grundlegende Planung schafft die Voraussetzungen für die nachfolgenden Stufen. Sie besteht aus der Festlegung der personellen Betreuung, der Festlegung eines Dokumentationsstandards und den vorläufigen Termin- und Kostenplanungen. Nachdem die personelle Betreuung festgelegt ist, können die jeweiligen Verantwortlichen den Dokumentationsstandard festlegen und Termin- und Kostenplanungen vornehmen. Diese beiden Aktivitäten können parallel laufen, daraus entsteht ein Zeitersparnis.

#### **Ist-Analyse**

Die Einführungsstrategie wird durch eine Ist-Analyse eingeleitet. Hierdurch werden Probleme im Ist-Zustand aufgedeckt. Die nachfolgenden Stufen basieren auf dieser Ist-Analyse. Nachdem diese detailliert geplant wird, werden die Bereiche Innovation, Betrieb und Arbeitssituation analysiert. Durch die vorgeschaltete Ist-Analyse können Einführungsstrategien individuell an die Umstände und Randbedingungen angepasst werden. Der Kontrollpunkt zur Ist-Analyse schließt diesen Bereich ab. Auf der Grundlage der Erkenntnisse der Analyse wird an dieser Stelle entschieden, wie das Projekt weitergeführt wird.

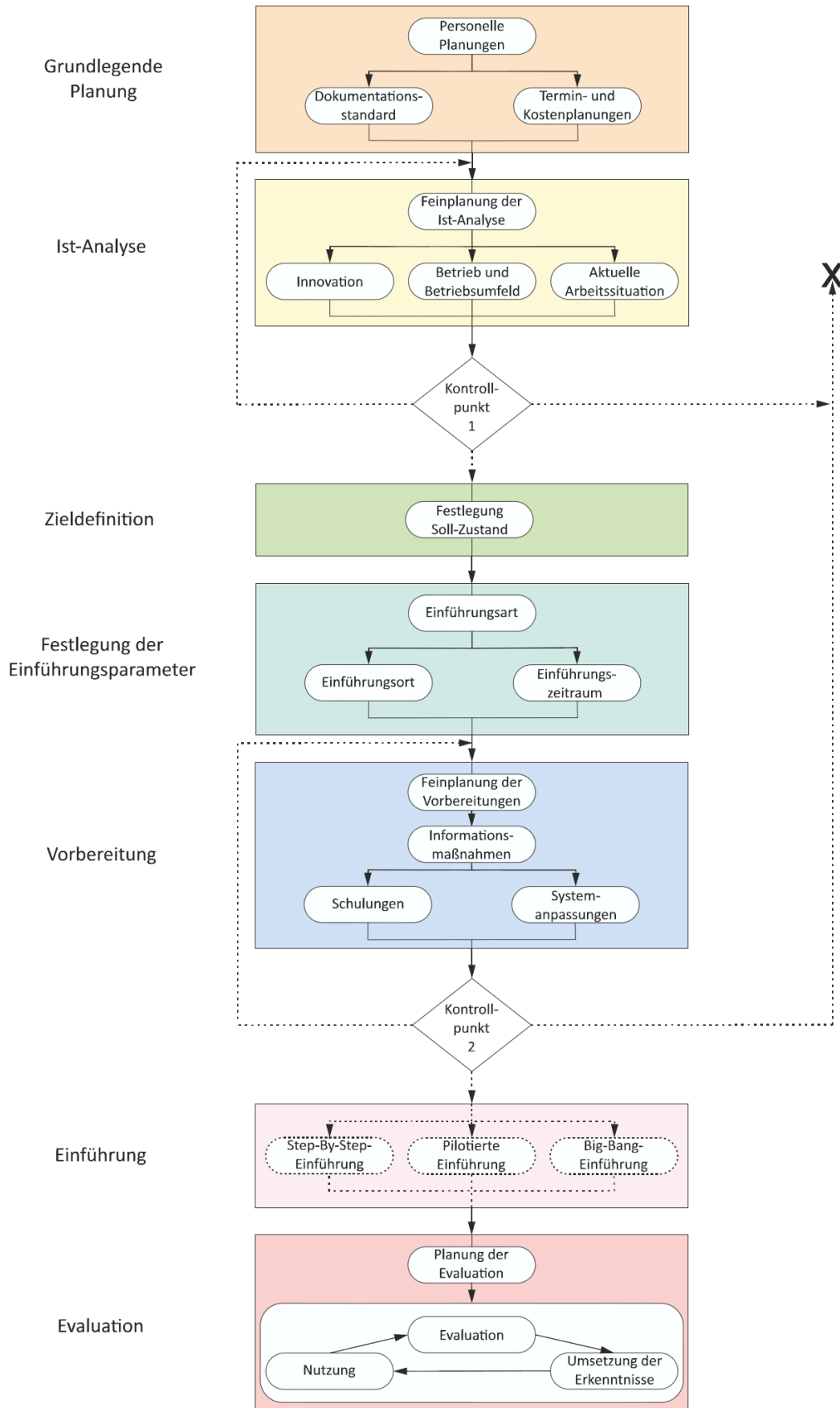


Abbildung 86: Phasenmodell der Prozessintegrationssystematik

### Zieldefinition

Die Zieldefinition entsteht aus den gesammelten Ergebnissen aus dem vorangegangenen Kontrollpunkt. Der Soll-Zustand wird in Kooperation mit den Prozessbeteiligten festgelegt. Hier kann jeder Wünsche und Ziele äußern, die anschließend zusammengetragen werden. Es wird eine realistische Zielsetzung mit überschaubarer Komplexität entwickelt. Dieser Punkt ist essenziell wichtig für den Erfolg der Innovation. Wenn während der Entwicklung zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten aufgedeckt wurden, muss abgewogen werden, ob alle Ziele mit der anfänglichen Einführung zu befriedigen sind. Ggf. müssen die zusätzlichen Nutzungsmöglichkeiten der Innovation zu einem späteren Zeitpunkt als Verbesserungsinnovation eingeführt werden. Die definierten Ziele werden in der Evaluation zum Vergleich herangezogen.

### Festlegung der Einführungsparameter

Nach der Zieldefinition erfolgt die Festlegung der Einführungsparameter. Hierzu legen die Prozessbeteiligten zunächst die Einführungsart fest und im Anschluss weitere Parameter wie den Einführungsart und den Einführungszeitraum. Die Einführungsart – unterschieden wird zwischen einer schrittweisen (Step-by-Step-Einführung) und einer schlagartigen (Big-Bang-)Einführung – kann mithilfe der in Abbildung 87 dargestellten Entscheidungshilfe ausgewählt werden.

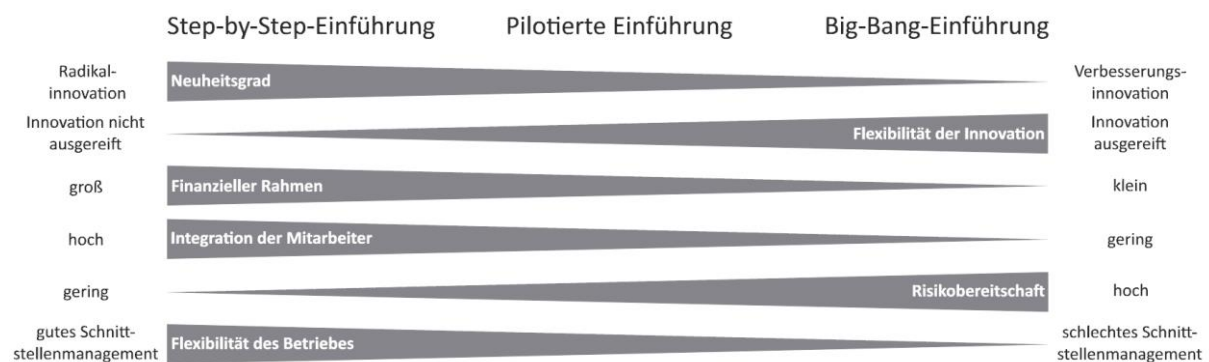


Abbildung 87: Entscheidungshilfe zur Einführungsart

### Vorbereitung

Die Vorbereitung der Einführung setzt sich aus Informationsmaßnahmen, Schulungen und Systemanpassungen zusammen. Eingeleitet wird diese Stufe durch eine Feinplanung. Im Rahmen der Vorbereitungen gibt es, wie auch bei der Ist-Analyse, einen abschließenden Kontrollpunkt. An diesem Punkt wird abermals kontrolliert, ob das Projekt im terminlichen und finanziellen Rahmen liegt. Zusätzlich werden an diesem Punkt die durchgeführten Maßnahmen der Vorbereitung evaluiert, um festzustellen, ob die gesetzten Ziele erreicht wurden.

## **Einführung**

Die Einführung wird vom Projektkomitee und den Leitern der Schulungen betreut. Durch das Festlegen von Einführungsart, Einführungszeit und Einführungsart in vorherigen Phasen, wurden die Randbedingungen für die Einführung bereits definiert. In der Anfangsphase der Arbeiten mit den neuen Technologien sollte bedacht werden, dass vorherige Routinearbeiten zunächst Zeit in Anspruch nehmen. Ist die Innovation zum Beispiel eine Technologie, mit der Werkstücke bearbeitet werden, könnte es sinnvoll sein, in der Anfangsphase mit Probewerkstücken zu arbeiten. Generell ist es sinnvoll, in der Anfangsphase der Einführung, offen gegenüber Fehlern zu sein. Mitarbeitern muss verdeutlicht werden, dass anfängliche Fehler zum Innovationsprozess dazugehören.

## **Evaluation**

In der Planung dieser Phase müssen die Evaluationszyklen festgelegt werden. Durch sich wiederholende Evaluationen wird eine kontinuierliche Verbesserung der Arbeitsabläufe und der Technologie gewährleistet. Bei jeder Evaluation werden Tests unter gleichen Randbedingungen durchgeführt. Diese Tests beziehen sich auf Qualität und Produktivität. Die Ergebnisse werden mit denen der vorangegangenen Evaluation, für die erste Evaluation mit den Referenztests aus der Analyse verglichen.

### ***3.3.1.10 FSG: Handlungsleitfaden für die Prozessintegration der zeichnungsfreien Informationsversorgung / Markierungssystematik***

#### ***3.3.1.11 FSG: Prozessintegrationsuntersuchungen***

## **3.3.2 Technologieeinsatz AR in der getakteten Unikatfertigung**

### **3.3.2.1 Entwicklung einer modularen Pflichtenheftsystematik (Komponenten zu AR / getaktete Unikatfertigung)**

Die modulare Pflichtenheftsystematik teilt sich ein in die Hauptkategorien Hardware, Software und Prozessintegration. Die Pflichtenhefte lassen sich je nach Anwendungsfall konfigurieren. Für das Szenario AR in der getakteten Unikatfertigung wurden folgende Module festgelegt (Abbildung 88, die nicht verwendeten Module der Systematik sind jeweils in Grau dargestellt):

<b>1.</b>	<b>Hardware</b>
1.a	Tracking
1.b	Datenübertragung
1.c	Bedienung
1.d	Schnittstellen
<b>2.</b>	<b>Software</b>
2.a	Informationsdarstellung
2.b	Datenformate
2.c	Dokumentation
2.d	Interaktion
<b>3.</b>	<b>Prozessintegration</b>
3.a	Benutzungskonzept
3.b	Einführungsvorgehen
3.c	Prozessmodifikationen

Abbildung 88: Pflichtenheftkonfiguration für AR in der getakteten Unikatfertigung

### 3.3.2.2 MW: Erstellung Pflichtenheft AR / getaktete Unikatfertigung

### 3.3.2.3 Konfiguration ausgewählter Prototypen (AR / getaktete Unikatfertigung), Teil 1

Der in den Arbeitspaketen 3.2.3.1 bis 3.2.3.3 entwickelte Prototyp wurde in einem Vorab-Praxiseinsatz verwendet, um die Testumgebung der Meyer Werft auszurüsten (vgl. Abbildung 89).

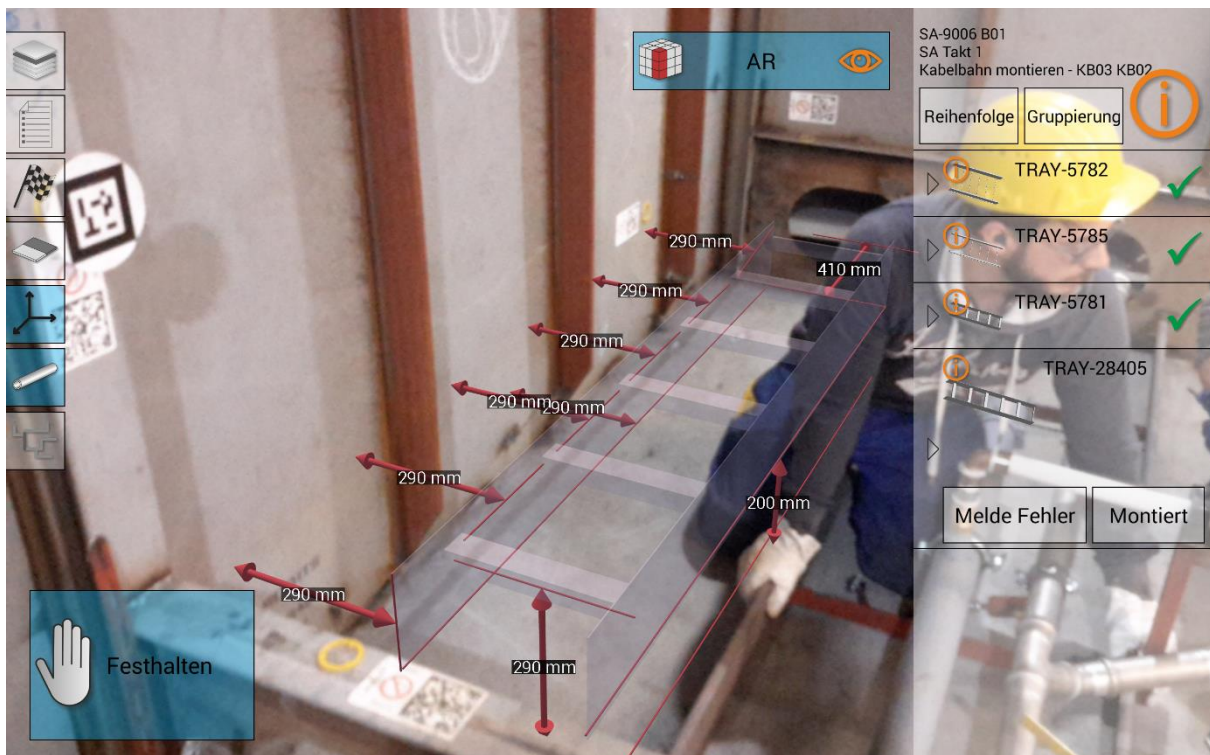


Abbildung 89: Screenshot eines Azubis der Digitalen Arbeitsunterlage

Dies geschah mit Auszubildenden des ersten und zweiten Lehrjahres ohne Erfahrungswissen aus langjährigem Einsatz in der Sektionsausrüstung, um sicherzustellen, dass die Digitale Arbeitsunterlage alle Informationen enthält, die für die Montage benötigt werden. Hierbei zeigte sich, dass die Ausrüstung des Testraumes ohne weitere Informationsmedien möglich war.

Die Beobachtungen und das Feedback der Auszubildenden aus dem Vorab-Praxiseinsatz wurden verwendet, um die finale Konfiguration des Prototyps zu optimieren. Es zeigte sich hierbei Bedarf für mehrere Optimierungen, die vor allem dadurch entstanden, dass bestimmte Interaktionsschritte von den Werkern wiederkehrend und damit vorhersagbar auftraten:

- Sortierung der Bauteile nach geometrischer Lage, um die Bauteilliste in Reihenfolge eines Rohrstrangverlaufs zu bringen
- Gruppierung der Bauteile nach vormontierten Baugruppen wie bspw. Rohrisometrien aus der Rohrvorfertigung
- Automatische Anzeige der Bemaßung
- Automatische Arbeitspaketübersichten am Anfang der Schicht
- Automatische Anpassung der Ansicht im CAD-Modus

#### **3.3.2.4 Konfiguration ausgewählter Prototypen (AR / getaktete Unikatfertigung), Teil 2**

Die in Arbeitspaket 3.3.2.3 festgestellten Optimierungsanforderungen an die Digitale Arbeitsunterlage wurden in diesem Arbeitspaket eingearbeitet.

##### **Bauteilsortierung**

Um die Bauteile in der Liste möglichst schnell anordnen zu können, wurde für die Benutzer die Möglichkeit geschaffen, die Verbaurichtung eines Arbeitspaketes (bspw. eines Rohrstranges) anzugeben. Hierzu wählt der Benutzer zu Beginn des Arbeitspaketes über dreidimensionale Pfeile im 3D-Anzeige-Bereich die Richtung aus (Abbildung 90) und die Bauteilliste sortiert sich automatisch. Dies ermöglicht den Mitarbeitern der Fertigung mit einem Tippen auf die Einbaubestätigung direkt zum nächsten Bauteil zu springen, ohne dass die Arbeitsvorbereitung eine detaillierte Reihenfolgeplanung vornehmen muss.



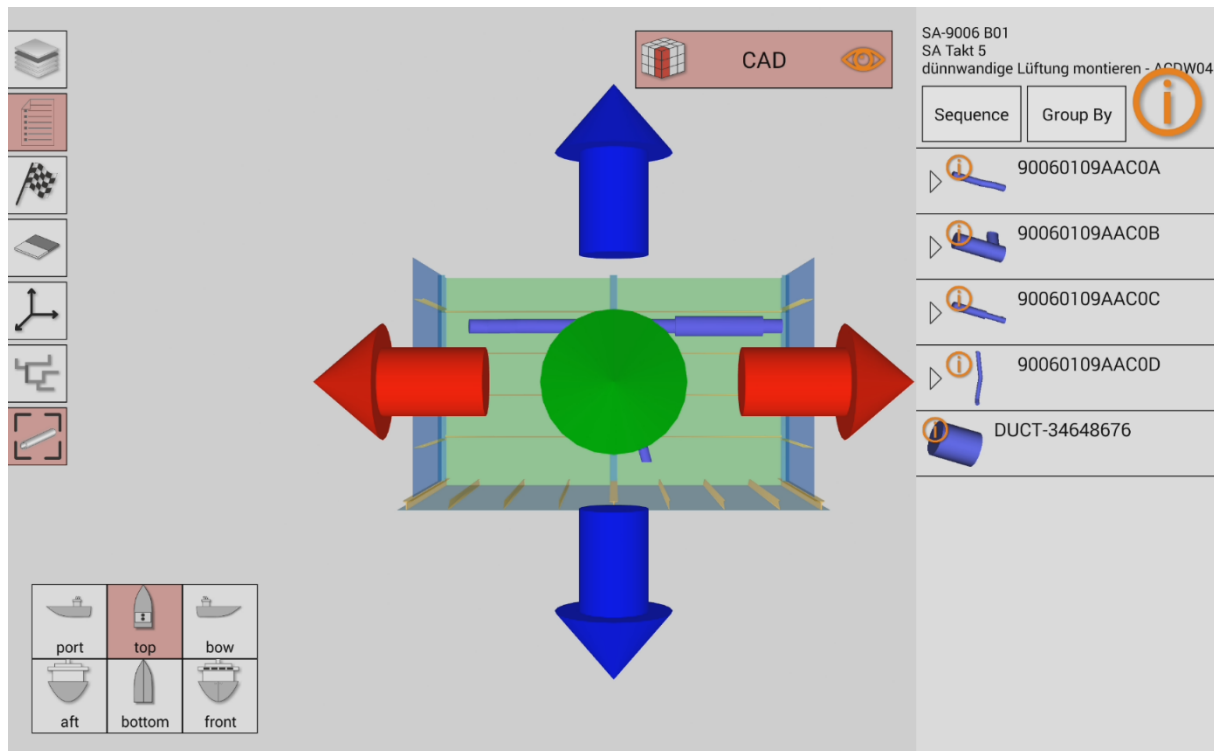


Abbildung 90: Verbaurichtungsauswahl in der Digitalen Arbeitsunterlage

### Bauteilgruppierung

Um sich einerseits den Arbeitsinhalt einteilen zu können und andererseits Baugruppen, die bereits vormontiert angeliefert werden, als einzelnes Bauteil in der Bauteilliste anzeigen zu können, äußerten die Mitarbeiter der Fertigung den Wunsch nach einer Bauteilgruppierung. Diese wurde im Prototyp implementiert, sodass sich Bauteile nach deren Metadaten zusammenfassen lassen. Bei vormontierten Rohrsträngen ist dies bspw. die Spool-ID, über die Rohrbauteile zu einer vormontierten Rohrisometrie zusammengefasst dargestellt werden können, oder Bauteilbezeichner, über die mehrere gleiche Bauteile, bspw. Armaturen, gruppiert und in einem Arbeitsgang eingebaut werden können.

### Automatische Anzeige der Bemaßung

Da die Mitarbeiter zu jedem Bauteil die Bemaßung einblendeten, bietet es sich an, diese höher zu priorisieren und ständig einzublenden. Benutzer können die Bemaßung abwählen, was allerdings in den überwiegenden Fällen nicht notwendig ist.

### Automatische Arbeitspaketübersicht

Zu Beginn eines Arbeitspaketes ließ sich bei den Benutzern beobachten, dass diese grundsätzlich in die CAD-Ansicht wechselten, herauszoomten und das Modell so rotierten, dass sie es von oben betrachteten, um anschließend in der Inhaltsauswahl das gesamte Arbeitspaket zu aktivieren und einen Überblick über die anstehenden Aufgaben zu gewinnen. Diese wiederkehrende Aufgabe erleichtert die Digitale Arbeitsunterlage, indem sie die Schritte auto-

matisiert und dem Benutzer direkt eine Draufsicht bietet. Diese wird sofort verlassen, sobald er das erste Bauteil selektiert. Die Bauteilauswahl wurde im gleichen Zuge erleichtert, indem der Benutzer das Bauteil auch in der 3D-Ansicht anwählen kann.

### **Automatische Anpassung der CAD-Ansicht**

Um die Interaktion mit der Digitalen Arbeitsunterlage zu minimieren und so die Produktivität zu erhöhen, wurde eine automatische Anpassung der CAD-Ansicht auf die aktuell ausgewählten Bauteile (Flugmodus) eingeführt. Der Flugmodus berechnet auf Basis mehrerer Parameter (ausgewählte Bauteile, Position der Bauteile, Größe der Bauteile, Orientierung der Bauteile, Ebene des Bodens, aktuell eingestellte Ansicht, durchschnittliche Größe des Benutzers) eine optimale Ansicht, die alle im CAD-Modell ausgewählten Informationen anzeigt. Im Anwendungsfall Sektionsausrüstung geht der Flugmodus der digitalen Arbeitsunterlage von einer Augenhöhe des Werkers von 1700 mm über dem Boden (spätere Decke) der Schiffssektion aus und stellt die Ansicht entsprechend ein. Durch eine Kamera-Flug-Animation verdeutlicht die Anwendung dem Benutzer gleichzeitig die relative Lage des Bauteils zu seinem aktuellen Standort oder der aktuellen Ansicht, was für ihn vor allem bei weit voneinander entfernten Bauteilen die Orientierung erleichtert.

#### ***3.3.2.5 MW: Implementierung des Tracking-Prototypen***

#### ***3.3.2.6 MW: Implementierung von Prototypen (AR / getaktete Unikatfertigung)***

#### ***3.3.2.7 MW: Prozessintegrationsuntersuchungen der ausgewählten Technologien (getaktete Unikatfertigung)***

#### ***3.3.2.8 MW: Soll-Ist-Vergleich***

#### ***3.3.2.9 FLW: Soll-Ist-Vergleich 2***

### **3.3.3 Technologieeinsatz AR zum Retrofit**

#### **3.3.3.1 Entwicklung einer modularen Pflichtenheftsystematik (Komponenten zu AR / Retrofit)**

Die modulare Pflichtenheftsystematik teilt sich ein in die Hauptkategorien Hardware, Software und Prozessintegration. Die Pflichtenhefte lassen sich je nach Anwendungsfall konfigurieren. Für das Szenario AR zum Retrofit wurden folgende Module festgelegt (Abbildung 91, die nicht verwendeten Module der Systematik sind jeweils in Grau dargestellt):

<b>1.</b>	<b>Hardware</b>
1.a	Tracking
1.b	Datenübertragung
1.c	Bedienung
1.d	Schnittstellen
<b>2.</b>	<b>Software</b>
2.a	Informationsdarstellung
2.b	Datenformate
2.c	Dokumentation
2.d	Interaktion
<b>3.</b>	<b>Prozessintegration</b>
3.a	Benutzungskonzept
3.b	Einführungsvorgehen
3.c	Prozessmodifikationen

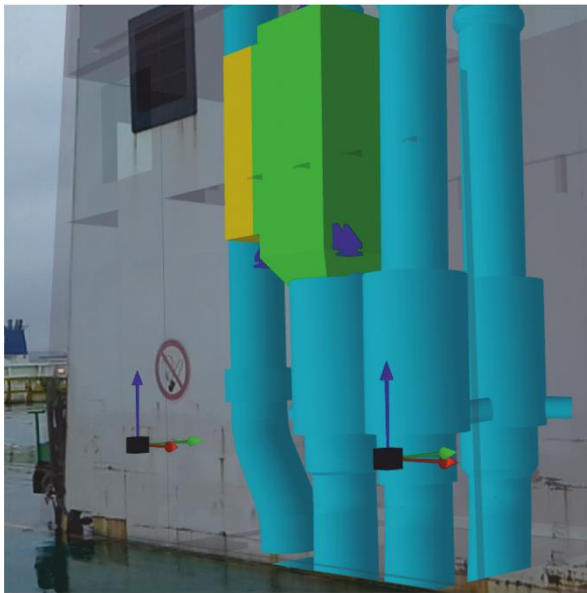
Abbildung 91: Pflichtenheftkonfiguration für AR zum Retrofit

### 3.3.3.2 MDT: Erstellung Pflichtenheft AR / Retrofit

#### 3.3.3.3 Konfiguration ausgewählter Prototypen (AR / Retrofit), Teil 1

Die Vor-Evaluation der Prototypen zeigte, dass ein ganzheitliches AR-Konzept für den Einsatz im Retrofit vorteilhaft gegenüber Einzellösungen ist. Hierbei stellte sich heraus, dass die Planungsprototypen Angebotsvisualisierung (Phase I) und Variantenplanung (Phase II) die Datengrundlagen erschaffen können, die sowohl bei der Planung, als auch, um Montagedaten erweitert, bei der Ausführung vor Ort als Montageunterstützung (Phase III) weiterverwendet werden können. Der Detailgrad der Informationen, die die Datengrundlage enthält und die die jeweiligen Prototypen anzeigen können, wächst mit der Zeit (Phase I bis Phase III) stetig an.

Für die abschließende Evaluation wurden die Prototypen Angebotsvisualisierung und Variantenplanung konfiguriert. Die Zielsetzung war hierbei, eines der vier Hilfsaggregate mit einem MDT-SCR auszurüsten, wobei sich nach Betrachtung der 3D-Ist-Geometrie-Aufnahmen mehrere Einbaupositionen im Abgasschacht ergaben. Diese wurden für die Angebotsvisualisierung konfiguriert und dem Schiffsbetreiber vor Ort vorgestellt. Hierbei wurde dem Kunden die Einbauposition des SCR visualisiert, indem ein „Röntgenblick“ durch die Außenwand des Abgasschachtes mit AR geschaffen wurde, sodass die Höhe und Lage des SCR deutlich wurden. Auf diese Weise ließen sich notwendige Demontageschritte an der Außenwand des Abgaskraktes für den Kunden greifbarer darstellen. Die Variantenplanung wurde genutzt, um zusammen mit dem Kunden mögliche Varianten des Einbaus innerhalb des Abgasschachtes zu diskutieren. Hierbei entstanden weitere Ideen – der Kunde schlug bspw. vor, den SCR um 45° zu drehen, um eine bessere Zugänglichkeit zu den Wartungsöffnungen zu schaffen. Weiterhin wurden verschiedene Einbauhöhen visualisiert und geeignete Varianten für die Planung exportiert.



a) Augmented Reality als Röntgenblick



b) in einem Abgasschacht

12574

**Abbildung 92: Angebotsvisualisierung eines SCR (links) und Variantenplanung (rechts)**

### 3.3.3.4 Konfiguration ausgewählter Prototypen (AR / Retrofit), Teil 2

Die Angebotsvisualisierung und Variantenplanung wurden in einem weiteren Szenario für die Installation weiterer Komponenten des SCR-Systems konfiguriert und vor Ort getestet. Abbildung 93 zeigt die Einblendung eines Schaltschranks für die Steuerung der Abgasreinigungsanlage sowie einen Kompressor, die die Angebotsvisualisierung an einem möglichen Einbauort darstellt.



**Abbildung 93: Einblendung von Komponenten des Abgasreinigungssystems**

Die im Arbeitspaket 3.2.3.1 bis 3.2.3.3 entworfene Digitale Arbeitsunterlage wurde für einen Funktionstest im Retrofit angepasst, um die Montageschritte vor Ort als Planungshilfe anzuzeigen. Hierfür wurde exemplarisch ein MDT-Motor in das interne Datenformat der Digitalen Arbeitsunterlage konvertiert und Montageschritte in AR visualisiert. Hierbei wurden unterschiedliche Trackingmethoden verwendet. Bei einer Demonstration vor Ort stellte sich heraus, dass vor allem die Größenverhältnisse der Umgebung das System beanspruchten, so dass sowohl das Tracking als auch die Geometrieinblendung nicht aus allen relevanten Blickwinkeln einwandfrei funktionierten. Als Behelf wurde die AR-Einblendung herunterskaliert. Ein Eindruck ist in Abbildung 94 festgehalten.



Abbildung 94: Prototypische Einblendung von Montageanweisungen

### 3.3.3.5 MDT: Implementierung von Prototypen (AR / Retrofit)

### 3.3.3.6 MDT: Prozessintegrationsuntersuchungen der ausgewählten Technologien (Retrofit)

### 3.3.3.7 MDT: Unterstützung der operativen Tätigkeiten durch die implementierten Prototypen

## 3.4 Evaluierung

### 3.4.1 Evaluierung der ZIV / Markierungssystematik

#### 3.4.1.1 Evaluierung mit einem integrierten Szenario

In diesem Arbeitspaket wurden die Markierungssystematik und die Zeichnungsfreie Informationsversorgung jeweils in einem integrierten Szenario evaluiert.

#### **Markierungssystematik**

Die Markierungssystematik wurde an mehreren Bauteilen im Fertigungsprozess erprobt und die Resultate sowohl von Werkern als auch von den Beobachtern bewertet. Es zeigte sich im Hinblick auf die Produktivität, dass die Werker die Aktivitäten Messen und Anzeichnen vollständig vermeiden konnten, da das Ergebnis dieser bereits durch die Markierungsmaschine erzeugt worden war. Hinsichtlich der Praxistauglichkeit zeigte sich, dass die Werker mit dem neuen Vorgehen sehr zufrieden waren und sich eine flächendeckende Einführung der Markierungen wünschten. Im Hinblick auf die Planung ist festzuhalten, dass die Vorteile der Markierungssystematik bei dem bestehenden Prozess erst ab dem zweiten Schiff einer Serie vollständig greifen, da beim Prototypenbau der Brennvorgang bereits vollendet ist, bevor die gesamte Ausrüstung konstruiert wurde, und die Markierungspositionen in vollem Umfang vorhanden sind.

#### **Zeichnungsfreie Informationsversorgung**

Die in den Arbeitspaketen 3.3.1.5 und 3.3.1.6 konfigurierten Prototypen wurden in diesem Arbeitspaket einem Praxistest unterzogen. Hierbei sollten Werker in der Fertigungsumgebung die aktuellen Fragestellungen (Herausfinden von Bauteilnummern, -positionen, -maßen und Zusatzdokumente) mit Hilfe der DigiMAus2Go-Anwendung lösen. Es zeigte sich hierbei, dass der Prototyp in der Lage war, den Werkern sämtliche benötigten Informationen bereitzustellen, allerdings hatten die Mitarbeiter weitere Verbesserungsvorschläge hinsichtlich der produktiven und intuitiven Bedienung der Software, die im Folgearbeitspaket eingearbeitet wurden.

#### **3.4.1.2 FSG: Bewertung Pflichtenheft und praxisnahe Detaillierung**

#### **3.4.1.3 FSG: Handlungsleitfaden zur Systemeinführung**

#### **3.4.1.4 FSG: Bewertung der Produktivitätsverbesserung**

#### **3.4.1.5 Modifikation der Prototypen**

In diesem Arbeitspaket wurden die neuen Anforderungen der Probanden aus den Evaluationen in integrierten Szenarien in die Konfiguration der jeweiligen Prototypen integriert.

## Markierungssystematik

Für die Markierungssystematik wurden, vor allem durch das positive Feedback der Mitarbeiter, weitere Einsatzbereiche geprüft und festgehalten. Vor allem die Ausweitung der Markierungssystematik auf Stahlbauteile wie bspw. Spanten und Wände, die auch im Prototypenbau in vollem Umfang greift, verspricht große Potenziale. Hierbei stellte sich ebenfalls heraus, dass einige bereits eingesetzte Markierungen inspiriert durch die Markierungssystematik verbessert werden können, um den Werkern mehr Informationen darzustellen und praktikabler zu sein. So wurde für Stahlwände herausgefunden, dass eine doppelte Linie auf beiden Seiten der Wand im Gegensatz zur bisher verwendeten einfachen Linie zur Kennzeichnung der Stoßkantenposition den Ausrichtprozess erheblich beschleunigen kann.

## Zeichnungsfreie Informationsversorgung

Für die Zeichnungsfreie Informationsversorgung (vgl. Abbildung 95) wurden zur abschließenden Modifikation der Prototypen vor allem weitere Konzepte zur Navigation im 3D-Modell getestet, da deren Verbesserung in der Evaluation das größte Produktivitätspotenzial bei der Bedienung versprach. Hierzu wurden die Beschränkung der Freiheitsgrade (Geh-/Schwebemodus) in die Prototypen integriert und die Navigation mit einem Bedienstift sowie die Multi-Touch Bedienung mit Handschuhen getestet. Es stellte sich heraus, dass der Bedienstift die präziseste Interaktionsform darstellte und nach einer Eingewöhnungsphase höhere Bediengeschwindigkeiten erreicht werden konnten. Der Stift ermöglichte den Probanden zudem eine präzisere Bedienung kleiner Felder wie bspw. Menüs und Schaltflächen.



Abbildung 95: Der entwickelte Prototyp DigiMAus2Go im Testeinsatz

### 3.4.2 Evaluierung der AR in der getakteten Unikatfertigung

#### 3.4.2.1 Evaluierung mit einem integrierten Szenario

In der Testumgebung der Meyer Werft fand ein umfassender Einsatz der Anwendung über 16 Plan-Arbeitsstunden mit zwei Werkern der getakteten Sektionsausrüstung statt. Die Ausrüstung wurde von den Workern in einem früheren Versuch (ca. ein halbes Jahr zeitliche Differenz) unter Verwendung der herkömmlichen Papierzeichnungen verbaut – dieser galt als Referenzmessung. In der abschließenden Evaluation verbauten die Worker die gleiche Ausrüstung, allerdings an anderen Positionen in der Testumgebung, sodass vorhandene Schweißpunkte oder Einbauspuren des früheren Versuchs keine Hinweise auf die Positionierung der Teile gaben. Hierbei stellte sich eine wesentliche Reduzierung der Informationsbeschaffungs- und Verarbeitungsphase heraus: Die Worker benötigten für die Informationsphase mit der Digitalen Arbeitsunterlage 19 % weniger Zeit (112 statt 138 Minuten), sodass sich eine Gesamtverbesserung der Produktivität von 6% ergibt. Eine Befragung der beteiligten Worker zeigte deren überaus große Akzeptanz für die digitale Arbeitsunterlage. Im Anschluss an die Montage führten Mitarbeiter einen Soll-Ist-Abgleich mit Augmented Reality durch, um evtl. Fehler zu finden. Dabei stellte sich heraus, dass die Ausrüstung mithilfe der Digitalen Arbeitsunterlage korrekt verbaut worden war. Abbildung 96 zeigt die Digitale Arbeitsunterlage während des Einsatzes im AR-Modus mit eingefrorenem Tracking.



Abbildung 96: Die Digitale Arbeitsunterlage im Praxiseinsatz während der Evaluation

#### 3.4.2.2 MW: Bewertung Pflichtenheft und praxisnahe Detaillierung

#### 3.4.2.3 MW: Handlungsleitfaden zur Systemeinführung

#### 3.4.2.4 MW: Bewertung der Produktivitätsverbesserung



### 3.4.2.5 Modifikation der Prototypen

Die aus der Praxis-Evaluation gewonnenen Erfahrungen wurden in den Prototypen eingearbeitet. Hierbei fanden Detailverbesserungen statt, wie bspw. die farbige Aufbereitung der Bemaßungselemente. Die endgültige Version der Benutzeroberfläche ist in Abbildung 97 dargestellt. Im abgebildeten Szenario ist mit AR eine gruppierte Rohrisometrie eingeblendet und mit Bemaßung versehen. Die Bemaßungselemente sind zur besseren Identifikation der Zugehörigkeit zwischen Textfeldern und Maßpfeilen unterschiedlich eingefärbt.

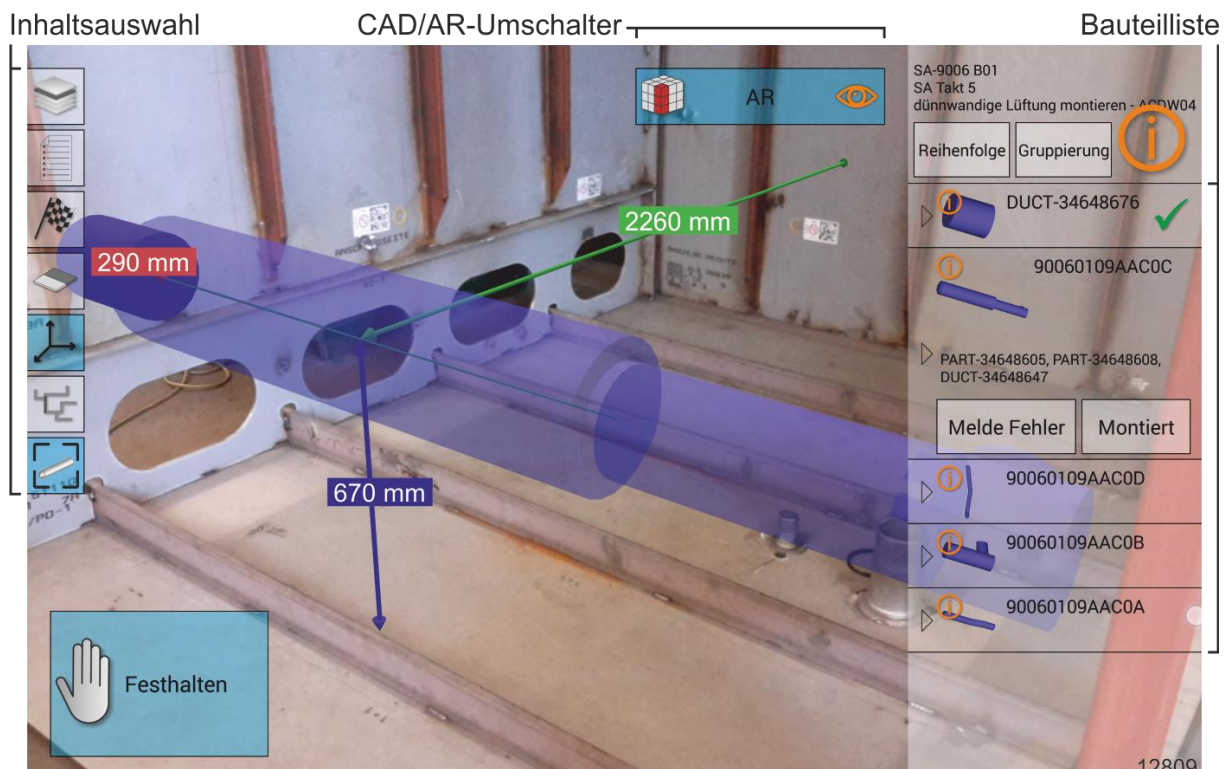


Abbildung 97: Finale Version der Benutzeroberfläche

Darüber hinaus wurden die Trackingmethoden angepasst und generalisiert, sodass sie mit wenig Aufwand auch in nicht per 3D-Laserscanner vermessenen Umgebungen eingesetzt werden können. Hierzu wurde ein Konzept für dynamische Markerpositionen verwendet. Die Marker können nun im Raum angebracht werden, die Positionen werden händisch vermessen und in der Digitalen Arbeitsunterlage eingetragen. Auf diese Weise ist es möglich, die Digitale Arbeitsunterlage Out-of-the-Box einzusetzen. Die Methode wurde bei der FLW und in der Laborumgebung der TUHH getestet.

Auch die Konzepte für die Bauteilsortierung und -gruppierung wurden überarbeitet und verallgemeinert, sodass diese auch auf beliebigen anderen Metadaten operieren können. Auch dies wurde mit dem FLW-Testdatensatz erprobt. Metadaten, die die Mitarbeiter häufig aufrufen (gewünscht waren Material und Rohrdurchmesser) werden direkt in der Bauteilliste angezeigt, anstatt sie über die Bauteilinformationen aufrufen zu müssen. Hierdurch lassen sich für den produktiven Einsatz weitere Interaktionsschritte einsparen.

Neue Anforderungen hinsichtlich der Referenzbauteile, die in Kooperation mit der FLW entstanden, wurden ebenfalls eingepflegt. Hierbei war die Maßgabe, die Referenzbauteile automatisch entweder anhand ihres Bauteilbezeichners oder bestimmter Metadaten zu identifizieren, um die Arbeitsvorbereitung zu entlasten.

### **3.4.3 Evaluierung der Retrofit-Verfahren**

#### **3.4.3.1 Evaluierung der Retrofit-Planungsverfahren mit einem integrierten Szenario**

Für die Durchführung der Evaluation wurde ein integriertes Szenario auf dem Schiff DFDS Ficaria gewählt, auf dem ein SCR-System von MAN installiert werden sollte. Der Retrofit-Prozess konnte hierbei von der Initialisierung bis zur Durchführung vollständig von der TUHH begleitet werden. Die Evaluation enthielt die Teilaspekte:

- Untersuchungsbereichsfestlegung
- Frühabschätzungstool
- Prozesskonfigurator für den Retrofit

Die Untersuchungsbereichsfestlegung diente im Vorwege dazu, die für den Umbau relevanten Bereiche der Fähre zu klassifizieren, um den Aufwand für die Ist-Geometrieaufnahme so gering wie möglich zu halten. Das Frühabschätzungstool lieferte Schätzwerte für die Dauer der Geometrieaufnahmen vor Ort, um abzusichern, dass diese während der Liegezeit des Schiffes im Hafen von Göteborg durchgeführt werden konnten. Der Prozesskonfigurator passte die Prozessschritte an das vorliegende Retrofitprojekt an. Der Gesamtaufwand für die Planungsphase konnte durch den Einsatz der Planungswerkzeuge im Vergleich zu einem früheren Projekt um 36% gesenkt werden.

#### **3.4.3.2 Evaluation der Retrofit-Durchführung mit einem integrierten Szenario**

Auch die Durchführungsprototypen konnten am selben Schiff (DFDS Ficaria) evaluiert werden, sodass ein durchgängiges Szenario entstand. In diesem Arbeitspaket wurden die Aspekte der 3D-Ist-Geometrie-Erfassung mit den unterschiedlichen Verfahren (Laserscanner, Photogrammetrie, 3D-Kameras) evaluiert. Hierzu wurden die vorher definierten Bereiche jeweils mit der verschiedenen Technologien aufgenommen. Dabei zeigte sich zum einen die Eignung der Verfahren für unterschiedliche Schwerpunkte der Geometrie-Erfassung als auch die valide Abschätzung der Aufnahmezeiten durch das Frühabschätzungstool. Die Aufnahme mit Laserscannern hat vor allem in der Genauigkeit einen wesentlichen Vorteil gegenüber den anderen Technologien. Die Photogrammetrie eignet sich besonders, wenn eine möglichst schnelle Aufnahme mit einfachster Technologie (Digitalkameras und ausgedruckten Markern) gefragt ist. Die Aufnahmen mit 3D-Kameras (im Beispiel die Microsoft Kinect) wiesen dabei die größte Vollständigkeit und den höchsten Detailgrad auf. Ein Einsatz aller Verfahren während der Fahrt des Schiffes rundete die Evaluation ab. Hierbei zeigte sich, dass sowohl die Photogrammetrie als auch die Aufnahme mit 3D-Kameras unempfindlich ge-

genüber Vibrationen war. Beim Laserscanning zeigten sich deutliche Verzeichnungen in der aufgenommenen Struktur, sodass sich ein Einsatz ohne wesentliche Genauigkeitseinbußen nur während der Liegezeit des Schiffes eignet. Bei der Aufnahme mit 3D-Kameras stellten sich neue Anforderungen hinsichtlich der Größe der aufzunehmenden Bereiche (kabellose Aufnahme der Umgebung).

### 3.4.3.3 MDT: Bewertung Pflichtenheft und praxisnahe Detaillierung

### 3.4.3.4 MDT: Handlungsleitfaden zur Systemeinführung

### 3.4.3.5 Modifikation der Planungsprototypen

Im Nachgang der Evaluation wurden mehrere Anpassungen an den Prototypen vorgenommen. Zum einen ist die Benutzeroberfläche intuitiver gestaltet, da Versuchsteilnehmer bemängelten, dass sich nicht immer erkennen lässt, in welchem Zustand sich die Rotations- und Verschiebungssteuerung befindet. Hierzu blendet der veränderte Prototyp nun zwei Koordinatensysteme ein: das Markerkoordinatensystem und das Modellkoordinatensystem. Die Achse, die zur Rotation und Translation ausgewählt ist, ist dabei hervorgehoben. Zudem zeigen drei Schaltflächen die momentan aktivierte Achse an. Die Gestensteuerung wurde vereinfacht, indem Einrastwinkel (standardmäßig alle 45°, konfigurierbar) verhindern, dass Benutzer die Modelle versehentlich verdrehen und die Ausgangsposition nicht wieder herstellen können. Als weitere Orientierungshilfe im dreidimensionalen wurde eine Abstandsanzeige entwickelt, die die Tiefeninformation schematisch darstellt. Sie zeigt an, wie weit sich das gewählte Objekt vor oder hinter einer Referenzebene (bspw. dem Markerursprung) befindet. Über die Anpassungen an der Oberfläche hinaus wurde die Anwendung mit weiteren Modellen getestet, um die Allgemeingültigkeit sicherzustellen. Dabei zeigte sich, dass die Anwendung auch bei sehr großen Datensätzen wie Schiffsmotoren mit Abgasschachtkomponenten performant funktionierte. Abbildung 98 stellt die finalisierte Oberfläche dar.

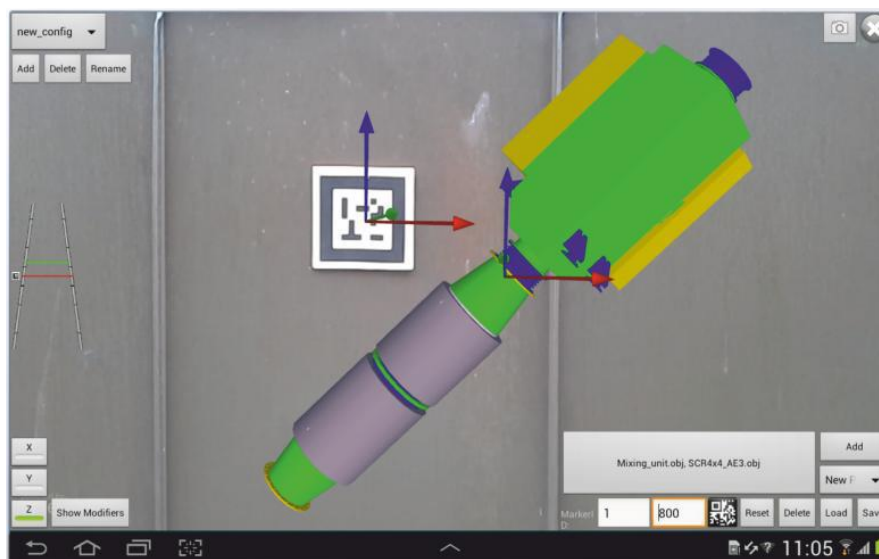


Abbildung 98: Finale Benutzeroberfläche der Variantenplanung.

### 3.4.3.6 Modifikation der Durchführungsprototypen

Der Prototyp zur 3D-Ist-Geometrie-Erfassung wurde einigen Anpassungen unterzogen, die vor allem der Größe der aufzunehmenden Bereiche Rechnung tragen. In der Evaluation zeigte sich, dass sich die verwendeten Aufnahmeverfahren zwar grundsätzlich eignen, jedoch bedürfen sie einer kabellosen Aufnahme. Hierzu wurde eine Mobile Scan Unit (MSU) entwickelt, die die für das Verfahren notwendige Hardware (Kamera, Tablet-Computer und Akku-Pack) enthält. Das Akku-Pack dient dabei der Stromversorgung der Kamera – und bei Bedarf des Tablets –, das Tablet selbst dient der Echtzeit-Validierung der Ergebnisse. Auf ihm bekommt der Benutzer die aufgenommenen 3D-Ist-Daten sofort angezeigt und kann sie so auf Vollständigkeit überprüfen. Da die Tablet-Computer, die für einen Einsatz auf der MSU in Frage kommen, aufgrund der benötigten Rechenleistung entweder zu schwer sind oder einen zu hohen Stromverbrauch haben, erfolgt eine Trennung des Aufnahmesystems in eine Client-Server-Lösung. Der Client (der Tablet-Computer an der MSU) überträgt die aufgenommenen Kameradaten (Tiefenbild und Farbbild mit jeweils 30 Hz) an einen stationären, leistungsstarken Server, der die Berechnung der Geometrie übernimmt. Er schickt das Ergebnis im Anschluss zurück an das Tablet, das dem Benutzer das Ergebnis darstellt.



**Abbildung 99: Ein mit dem Verfahren aufgenommener Motor an Bord eines Schiffes**

Als Übertragungsverbindung wird WLAN (802.11g/n) verwendet, das auf vielen Schiffen bereits installiert ist, sodass außer dem Anschließen des Servers und dem Konfigurieren des Netzwerks keine weiteren Aufbauarbeiten notwendig sind. Da die Stahlunggebung im Schiffsrumpf die Datenrate oftmals einschränkt, ist eine hohe Kompression der Bilder erforderlich. Um dem Benutzer geeignetes Echtzeit-Feedback zu geben, ist eine geringe Latenz wünschenswert. Beides wird durch unterschiedliche Kompressionsalgorithmen erreicht: Die Tiefenbilder der Kamera werden verlustlos per Lauflängenkodierung komprimiert, um die Genauigkeit der Aufnahme beizubehalten, die Farbbilder sowie das Feedbackbild mit dem ver-

lustbehafteten H.264-Codec, da hier ein Qualitätsverlust keine Auswirkungen auf die Genauigkeit der Aufnahme hat. Im Ergebnis stellte sich eine minimal erforderliche Bandbreite von 11 Mbit/s heraus, sowie eine durchschnittliche Latenz zwischen Bildaufnahme und Feedback-Bild von 50 ms. Abbildung 99 zeigt das Ergebnis einer Aufnahme mit der Microsoft-Kinect.

### 3.4.4 Evaluierung der Produktivitätsanalyse in der Produktion

#### 3.4.4.1 FLW: Evaluierung Produktivitätsanalyse Produktion: Sektionsbau und Bordmontage Teil 1

#### 3.4.4.2 FLW: Evaluierung Produktivitätsanalyse Produktion: Sektionsbau und Bordmontage Teil 2

#### 3.4.4.3 Evaluierung Produktivitätsanalyse Produktion: Beitrag TUHH

Die Produktivitätsanalyse wurde in 12 Wertbereichen auf vier unterschiedlichen Werten getestet. Abbildung 100 fasst die Ergebnisse zusammen.

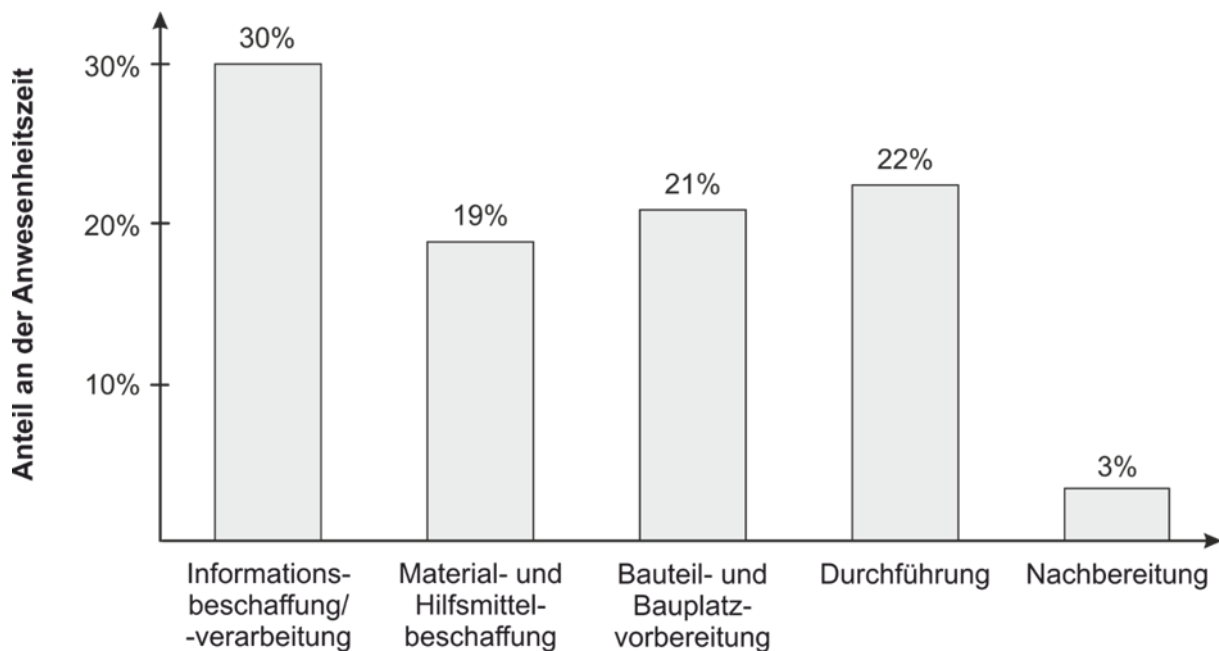


Abbildung 100: Gemittelte Auswertung von vier Werften und zwölf Wertbereichen

Die Mitarbeiterzeitmodellierung wurde ständig weiterentwickelt.

#### **3.4.4.4 Methodenmodifikation und Beschreibung für maritimes Produktionssystem**

Eine Dokumentation über die Erfahrungen aus den Analysen, insbesondere der Einsatz von Multimomentaufnahmeverfahren, wurde erstellt. Vereinfacht lautet dieser:

1. Auswahl des Untersuchungsbereiches
2. Treffen mit den Bereichsverantwortlichen (Meisterebene)
3. Besichtigung des Untersuchungsbereiches zusammen mit Meister/Vorarbeiter
  - Identifizieren der Tätigkeiten und Objekte
  - Definition des räumlichen Untersuchungsbereiches
  - Definition der aufzunehmenden Mitarbeitergruppen
  - Festlegen des Rundganges
4. Anpassung der Tätigkeiten und Objekte
  - Erstellen Tätigkeits-Objekt-Matrix
  - Vorbereitung der mobilen Applikation
5. Treffen mit Betriebsrat
  - Vorstellung des Vorgehens / Multimomentaufnahme
  - Vorstellung der Tätigkeits-Objekt-Matrix
  - anschließend Information der involvierten Werker durch den Betriebsrat
6. Durchführung der Aufnahme (2-3 Tage)
  - Treffen mit den Werkern (z.B. Morgenbesprechung)
  - Rundgänge
  - Aufnahme von zusätzlichen Daten (Anzahl der Mitarbeiter, Laufweganalyse)
  - evtl. Analyse der Nacharbeit
  - evtl. Prozessaufnahme
7. Auswertung
  - ca. 1.500 Stichproben werden benötigt
  - angestrebte Aussagewahrscheinlichkeit: 95%
  - Vertrauensbereich: min. +/- 2%
  - Zuordnung zu einem Prozess

#### **3.4.5 Evaluierung der fallbasierten Ist-Zeit-Erfassung**

##### ***3.4.5.1 FLW: Evaluierung fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung: Sektionsbau und Bordmontage Teil1***

##### ***3.4.5.2 FLW: Evaluierung fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung: Sektionsbau und Bordmontage Teil2***

### 3.4.5.3 Evaluierung Fallbasierte Ist-Zeit-Erfassung: Beitrag TUHH

Die fallbasierte Ist-Zeiterfassung wurde auf zwei Werften evaluiert. Häufig wurden die Zeitaufnahmen kritisch vom jeweiligen Betriebsrat betrachtet. Im Szenario der Meyer Werft konnte die Evaluierung des AR-Prototyps mit vier Kameras aufgenommen werden (Abbildung 101).



Abbildung 101: Ausschnitt aus der Videoanalyse

Somit war eine detaillierte Anwendung der fallbasierten Ist-Zeit-Erfassung sowohl ohne digitale Arbeitsunterlage als auch mit möglich.

### 3.4.5.4 Methodenmodifikation und Beschreibung für maritimes Produktionssystem

Für die fallbasierte Aufnahme wurde ebenfalls ein Handlungsleitfaden erarbeitet. Dieser umfasst weniger Schritte als die Produktivitätsanalyse, die auf dem Multimomentaufnahmeverfahren basiert und ganze Bereiche analysiert. Da die fallbasierte Zeitaufnahme kaum ohne IT-Tools durchzuführen ist, wurde eine detaillierte Anleitung für die Verwendung des Software-Prototyps erstellt.

### 3.4.6 Evaluierung der Produktivitätsmessung im Engineering

#### 3.4.6.1 Evaluierung Produktivitätsmessung im Engineering: Beitrag TUHH

Die Produktivitätsmessung im Engineering erfolgte in mehreren Bereichen. In einer Planungsabteilung erfolgte die Messung mit Hilfe einer auf Microsoft Excel basierten IT-Lösung. Die letzten Evaluierungen erfolgten mit einem eigens entwickelten Programm, welches die Daten zentral in einer Datenbank speichert und eine zeitnahe Auswertung erlaubt. Ebenfalls konnten Zeitaufnahmen bzw. Prozessaufnahmen durchgeführt werden. Die Verwendung von

mobilen Endgeräten für die Selbstaufschreibung ist zwar möglich, hat sich jedoch als weniger sinnvoll gezeigt, da die Mitarbeiter häufig die Eingabeaufforderungen ignorierten. Dies kann Ergebnisse verfälschen.

In dem Engineering-Bereich hat sich gezeigt, dass es hilfreich ist, weitere Bedingungsgrößen zu erfassen. Ein Mitarbeiterzustand wird dadurch noch detaillierter erfasst (siehe Abbildung 102).

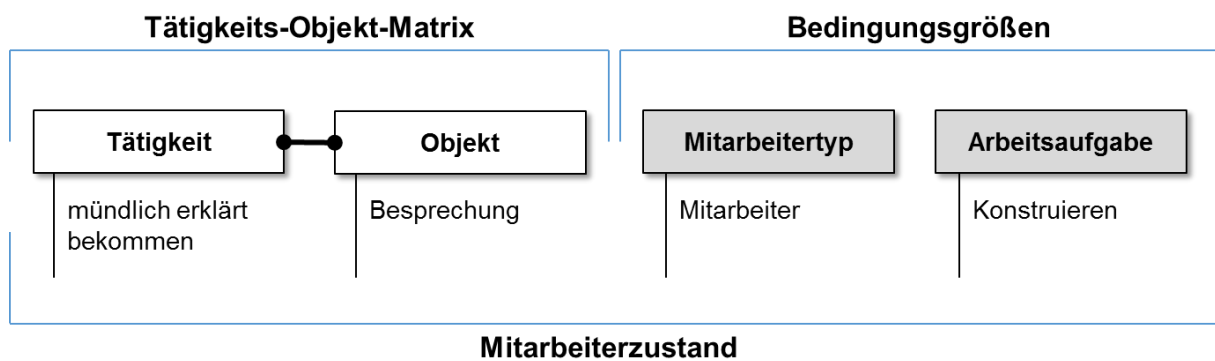


Abbildung 102: Definition eines Mitarbeiterzustandes

Die Aufnahme der Bedingungsgröße *Arbeitsaufgabe* hat sich als hilfreich für die Zuordnung von Mehr- oder Minderaufwänden bei dem Einsatz von neuen Verbesserungsmethoden erwiesen.

#### 3.4.6.2 FLW: Evaluierung Produktivitätsmessung im Engineering Teil 1

#### 3.4.6.3 FLW: Evaluierung Produktivitätsmessung im Engineering Teil 2

#### 3.4.6.4 FLW: Methodenmodifikation und Beschreibung für maritimes Produktionssystem

### 3.4.7 Produktivitätsverbesserung (gesamt)

#### 3.4.7.1 FSG: Bewertung der Produktivitätsverbesserung 1

#### 3.4.7.2 MW: Bewertung der Produktivitätsverbesserung 2

#### 3.4.7.3 MDT: Bewertung der Produktivitätsverbesserung 3

#### 3.4.7.4 FLW: Bewertung der Produktivitätsverbesserung 4



### **3.4.7.5 Gesamtauswertung**

Die Gesamtauswertung zeigt, dass sich in allen Technologiebereichen Verbesserungen in der Produktivität ergeben:

#### **Zeichnungsfreie Informationsversorgung**

Beim Einsatz der Zeichnungsfreien Informationsversorgung entfallen vor allem Wegezeiten für Dokumente, die aufgrund des Umfangs nicht vom Werker mitgeführt werden können. Auch hier entfällt der Aufwand für die Zeichnungserstellung und Bemaßung. In den vorgelagerten Bereichen entsteht kein signifikanter Mehraufwand.

#### **Markierungssystematik**

Beim Einsatz der Markierungssystematik lässt sich der Aufwand für das Lesen von Zeichnungen sowie das Messen und Anzeichnen (zusammen zwischen 30 und 40 Prozent der Arbeitszeit) zum Großteil einsparen. In den vorgelagerten Bereichen entsteht Zusatzaufwand für das Erzeugen der Markierungsbilder, der sich allerdings automatisieren lässt. Der Aufwand für das Markieren selbst fällt bei der FSG nicht ins Gewicht, muss jedoch beim Einsatz auf anderen Werften individuell untersucht werden.

#### **AR in der getakteten Unikatfertigung**

In der getakteten Unikatfertigung lassen sich durch den Einsatz digitaler AR-gestützter Arbeitsunterlagen 19% der Informationsbeschaffungszeit einsparen. Zudem entfällt die Erstellung von Zeichnungen. In den vorgelagerten Bereichen entsteht kein signifikanter Zusatzaufwand. Zu betonen ist darüber hinaus die breite Akzeptanz der Fertigungsmitarbeiter für die prototypisch entwickelte Lösung.

#### **Angebotserstellung im Retrofit**

Der verbesserte Prozess für die Angebotserstellung bei Retrofitprojekten konnte den Planungsaufwand im Evaluationsbeispiel um 36% senken. Die Augmented-Reality-Prototypen Angebotsvisualisierung, Variantenplanung zeigen sich für die Unterstützung des Prozesses als sehr hilfreich und stießen bei den Kunden auf sehr positives Feedback.

#### **Produktivitätsmessung und maritimes Produktionssystem**

Die Gesamtauswertung für die Methoden der Produktivitätsmessung und das maritime Produktionssystem zeigt vor allem deren Praxistauglichkeit. Das Produktivitätscockpit ermöglicht eine übersichtliche Darstellung der ausgewählten Kennzahlen. Die Aufnahmemethoden für die Mitarbeiterproduktivität in direkten Bereichen konnten in einer Vielzahl von Bereichen auf unterschiedlichen Werften erfolgreich angewendet werden und lieferten sinnvolle Ergebnisse. Die Aufnahmemethoden für die Mitarbeiterproduktivität in indirekten Bereichen konnte in mehreren Konstruktionsabteilungen angewendet werden. Auch hierbei ergaben sich verwertbare Ergebnisse. Zu betonen ist hierbei die Akzeptanz bei den Mitarbeitern.

### 3.4.8 Technologie-Roadmap

Im Folgenden erfolgen eine Bewertung der verwendeten Technologien und deren Einsatzmöglichkeiten. Zu den Technologien sind sofern als sinnvoll erachtet Anknüpfungspunkte für die Weiterentwicklung angegeben.

#### **Augmented Reality - Hardwaretechnologie**

Während der Projektlaufzeit entwickelte sich das gesamte Forschungsgebiet Augmented Reality erheblich weiter. So sind inzwischen leistungsfähige Geräte verfügbar, die den Anforderungen großer Geometriedatensätze gerecht werden und gleichzeitig eine für den Einsatz in der Fertigung ausreichende Akkulaufzeit ermöglichen. Explizit für den Industrieinsatz vorgesehene Geräte (z. B. sogenannte Tough-Pads) haben sich als wenig praxistauglich erwiesen, da sie einerseits teuer sind und andererseits nicht die Leistungsfähigkeit herkömmlicher Geräten aufweisen. Praktikabler erscheint eine Lösung mit herkömmlichen Geräten in einer Schutzhülle. Die Entwicklung der AR-Brillen oder auch Smart Glasses ist hinter den großen Erwartungen zurückgeblieben. Problematisch sind hierbei vor allem die effiziente Bedienung sowie eine unzureichende Ergonomie, die es verhindert, die Geräte während der Arbeit dauerhaft zu verwenden. Besonders für den Schiffbau ist der Anteil des überblendeten Sichtfeldes bei den verfügbaren Modellen viel zu klein. Auch angekündigte Modelle erfüllen die Voraussetzungen für einen produktiven Einsatz nicht.

#### **Augmented Reality - Montageunterstützung**

Die entwickelte Digitale Arbeitsunterlage hilft den Mitarbeitern der Fertigung, die relevanten Informationen schneller als bisher zu finden und sie greifbarer zu machen, und findet eine hohe Akzeptanz. Gleichzeitig offenbaren sich zahlreiche weitere Einsatzmöglichkeiten, in denen eine Unterstützung durch AR weitere produktivitätssteigernde Vorteile, wie z. B. Fehlerreduktion, der Einsatz weniger geschulter Arbeitskräfte oder eine bessere Dokumentation erreicht werden können. Hierbei bieten sich aus Forschungssicht vor allem solche Einsatzfelder an, bei denen die Basis an Fertigungsinformationen nicht so vollständig ist wie im Beispiel der getakteten Unikatfertigung, sodass diese effizient aufbereitet werden müssen. Als Beispiel hierfür eignet sich der Elektrobau mit flexiblen Bauteilen wie Kabeln. Andere Einsatzfelder, in denen sich der Arbeitsinhalt und damit der Bedarf an Informationen grundlegend unterscheiden, sind ebenfalls für weitere Forschung interessant. So ergeben sich bspw. bei der Unterstützung von Wartungsvorgängen oder der Logistik wesentlich andere Informationsbedarfe.

#### **Augmented Reality - Planung**

Die Planung und Demonstration von Produkten, Umbaumaßnahmen und Varianten hat sich als sehr hilfreich für die Prozessbeteiligten herausgestellt. Die Fragestellung für weitere Entwicklung kann hier bspw. sein, wie sich die Planungsmöglichkeiten mit AR auch in anderen

Bereichen, nutzen lassen. Ein häufig genanntes Szenario ist hierbei z. B. die Planung vor Ort, die ein Mitarbeiter der Fertigung oder Montage übernimmt.

### **Augmented-Reality-Tracking**

Das Tracking für Augmented Reality kann in kleiner Größenordnung als gelöst betrachtet werden. Umgebungen im Bereich von bis zu ca. 10 m<sup>2</sup> lassen sich mühelos erfassen. Allerdings ergeben sich in größeren Umgebungen Schwierigkeiten, die in den Beispielen jeweils per Marker-Tracking gelöst werden konnten. Forschungsrelevant ist vor allem ein Tracking in großen Umgebungen ohne Marker oder der effiziente flächendeckende Einsatz von Markern. Auch veränderliche Umgebungen stellen für markerloses Tracking derzeit ein Hindernis dar, da die Verfahren nicht zwischen Merkmalen auf fest installierten Objekten und Merkmalen auf beweglichen Objekten unterscheiden. Die Integration von 3D-Kameras in Tablet-Computern oder AR-Brillen kann das Tracking verbessern.

### **Laserscanning**

Die Geometrieaufnahme mit 3D-Laserscannern kann als ausgereift bezeichnet werden. Ebenso lassen sich mehrere Aufnahmen mit geringem Aufwand in einem Gesamtmodell, einer Punktwolke, registrieren. Für weitere Forschung relevant ist jedoch, wie diese aufgenommenen Daten weiterzuverarbeiten sind. Die Punktwolken enthalten nur geometrische Daten, jedoch keine Informationen über die in der Umgebung vorhandenen Objekte, die für eine Planungsgrundlage notwendig sind. Ziel sollte es sein, diese Informationen bspw. über eine 3D-Objekterkennung automatisiert aus den Punktwolken zu erzeugen. Weiterhin ist eine projektübergreifende Datenbank für die Ist-Geometrien denkbar.

### **Geometrieaufnahme mit 3D-Kameras**

Bei der Geometrieaufnahme mit 3D-Kameras zeigte sich, dass sich durchaus hohe Aufnahmegeschwindigkeiten erzielen lassen, die in manchen Bereichen sogar die von Laserscannern übertreffen. Als Stärke kann die Vollständigkeit der aufgenommenen Geometrie mit wenigen Verdeckungen sowie die gleichzeitige Farbaufnahme betrachtet werden. Entwicklungsbedarf besteht auch hier noch beim Tracking, das die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Verfahrens erheblich beeinflusst.

## 4 Veröffentlichungen

Die Ergebnisse des Projekts führten zu folgenden Veröffentlichungen:

- Friedewald, A.; Titov, F.; Halata, P. S.; Lödding, H.:  
**An Efficient Retrofit Planning Workflow**  
in: RINA (Hrsg.): 16th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS 2013)  
Papers Volume I, Busan 2013, S. 7-15
- Tietze, F.; Lödding, H.:  
**State-Oriented Productivity Analysis in One-of-a-Kind-Production**  
in: Prabhu, V.; Taisch, M.; Kiritsis, D. (Hrsg.): Advances in Production Management Systems (APMS), Proceedings, Pennsylvania 2013, S. 21-28
- Halata, P. S.; Titov, F.; Friedewald, A.; Lödding, H.:  
**Systematische 3D-Ist-Daten-Aufnahme großer und komplexer Umgebungen**  
in: Paul, L.; Stanke, G.; Heuwold, N.; Pochanke, M. (Hrsg.): 3D-NordOst 2013: 16. Anwendungsbezogener Workshop zur Erfassung, Modellierung, Verarbeitung und Auswertung von 3D-Daten  
Tagungsband, Berlin 2013, S. 135-145
- Tietze, F.; Lödding, H.:  
**Analyse der Arbeitsproduktivität in Arbeitsvorbereitung und Produktion von Unikaten**  
in: Biedermann, H. (Hrsg.): Corporate Capability Management - Wie wird die kollektive Intelligenz im Unternehmen genutzt?  
Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB), HAB-Forschungsbericht 26, GITO-Verlag, Berlin 2013, S. 185-210
- Tietze, F.; Lödding, H.:  
**Analyse der Arbeitsproduktivität in der Unikatfertigung - Eine Grundlage für zielorientierte Verbesserungsprozesse in der Unikatfertigung**  
Industrie Management 30 (3), 2014, S. 62-66
- Tietze, F.; Lödding, H.:  
**Produktivitätsanalyse in der Unikatfertigung mit mobilen Endgeräten**  
in: Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme der TUHH (Hrsg.):  
5. Interdisziplinärer Workshop Maritime Systeme, Tagungsband, Hamburg 2014, S. 1-3
- Halata, P. S.; Friedewald, A.; Lödding, H.:  
**Ein szenariobasiertes Auswahlverfahren für Augmented-Reality-Komponenten**  
in: Forschungsschwerpunkt Maritime Systeme der TUHH (Hrsg.):  
5. Interdisziplinärer Workshop Maritime Systeme, Tagungsband, Hamburg 2014, S. 25-27

- Halata, P. S.; Friedewald, A.; Lödding, H.:  
**Augmented Reality Supported Information Gathering in One-of-a-kind Production**  
in: Bertram, V. (Hrsg.): 13<sup>th</sup> International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT '14) Proceedings, Redworth 2014, S. 489-503
- Titov, F.; Friedewald, A.; Lödding, H.:  
**Augmented Reality zur kundenintegrierten Variantenplanung**  
in: Kersten, W.; Koller, H.; Lödding, H. (Hrsg.): Industrie 4.0 - Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern  
Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB), HAB-Forschungsbericht 27, GITO-Verlag, Berlin 2014, S. 297-316, ISBN 978-3955450830
- Friedewald, A.; Lödding, H.; Titov, F.:  
**Augmented Reality for the Retrofit of Ships**  
in: Bertram, V. (Hrsg.): 14<sup>th</sup> International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries (COMPIT '15), Proceedings, Ulrichshusen 2015, S. 236-246
- Titov, F.; Friedewald, A.; Lödding, H.:  
**Augmented Reality für Retrofit-Projekte**  
HANSA 152 (2015) 7, S. 54-55
- Titov, F.; Friedewald, A.; Lödding, H.:  
**Augmented Reality zur kundenintegrierten Variantenplanung - Ein Beispiel für Industrie 4.0 in der maritimen Industrie**  
Industrie 4.0 Management 31 (2015) 3, S. 7-10
- Halata, P. S.; Friedewald, A.:  
**Augmented-Reality-gestützte Arbeitsunterlagen für die Unikatfertigung**  
in: Lukas, U. v. et al. (Hrsg.): Go-3D 2015 "Computergraphik für die Praxis", Tagungsband, Rostock 2015, S. 65-79  
**Best-Paper-Award**
- Titov, F.; Friedewald, A.:  
**Improving the Tender Quality for Retrofit Projects**  
in: Han, S.; Lu, M.; Mohamed, Y. (Hrsg.): 15th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 15), Proceedings, Banff 2015
- Halata, P. S.; Friedewald, A.; Lödding, H.; Zimmermann, R.:  
**Augmented-Reality-gestützte Montageanweisungen für Unikate**  
productivITy 20 (2015) 5, S. 27-30

- Lödding, H.; Friedewald, A.; Halata, P. S.; Tietze, F.; Titov, F.:  
**PROSPER - Produktivitätsmanagement in der schiffbaulichen Produktion ermöglichen**  
in: Statustagung Maritime Technologien 2015  
Tagungsband, Rostock 2015, S. 179-194, ISBN 978-3-95806-104-0
- Halata, P. S.; Friedewald, A.:  
**Augmented-Reality-gestützte Arbeitsunterlagen für die Unikatfertigung**  
Schiff & Hafen, erscheint demnächst

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] BMWi-Förderprogramm „Maritime Technologien der nächsten Generation“; Das Forschungsprogramm für Schiffbau, Schifffahrt und Meerestechnik; www.BMWi.de; Berlin; 2011.
- [2] Zäh, M. F.; Patron, C.; Weber, V.: Informationstechnische Integration von Mitarbeitern in der Produktion. Nutzenpotenziale und Anwendungen von Multimedia, Augmented Vision und Augmented Reality; In: Industriemanagement 6/2003; Bremen; 2003.
- [3] Nedeß, C. et. al.: Prozessorientierte, wettbewerbsfähigkeitssteigernde Entwicklung des Rahmenkonzepts schiffbaulicher VR-Anwendung (Power-VR); Forschungsantrag; Hamburg; 2008.
- [4] Projektbeschreibung „Integrale handlungsorientierte Produktivitätsanalyse“, GEPRIS – Informationssystem zu geförderten Projekten der Deutschen Forschungsgemeinschaft.  
URL:<<http://gepris.dfg.de/gepris/OCTOPUS/?jsessionid=3169E0B764DA47AA0414F76A045CCDC7?module=gepris&task=generateDetailPDF&context=projekt&id=195246935>>  
, Abgerufen am: 08.12.2011
- [5] Nedeß, C. et. al: Schiffbau-Engineering mit Virtual Reality – Adaption an die Unikatproduktion, Teilvorhaben "Produktionsorientiertes VR-Engineering (PRO)". USE-VR ; Abschlussbericht; Hamburg; 2009.
- [6] Bokranz, R.; Landau, K.: Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2006.
- [7] Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [8] Abele, E.; Rumpel, G.; Cachay, J.: Zukunftsperspektiven des verarbeitenden Gewerbes. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 104 (299) 7-8, S. 577-581.
- [9] Weber, H. K.: Rentabilität, Produktivität und Liquidität: Größen zur Beurteilung und Steuerung von Unternehmen. Gabler, Wiesbaden, 1998.
- [10] Wanner, M.C.: Produktionssteigerungen im Schiffbau: Schlüssel für die Globalisierung der Märkte. Ringvorlesung Universität Rostock, 2008.
- [11] Community of European Shipyards' Associations (CESA): Annual Report 2009-2010.  
URL:< [http://www.cesa.eu/links\\_downloads#>](http://www.cesa.eu/links_downloads#>), Abgerufen am: 08.12.2011
- [12] Herr, O.: Systematik zur Effektivitätsmessung einer 5S-Initiative am Beispiel einer Werft. Diplomarbeit, Institut für Produktionsmanagement und -technik, Technische Universität Hamburg-Harburg, April 2010.

- [13] Gruß, R.: Schlanke Unikatfertigung: Zweistufiges Taktphasenmodell zur Steigerung der Prozesseffizienz in der Unikatfertigung auf Basis der Lean Production. Dissertation Technische Universität Cottbus, Gabler Verlag, 2010.
- [14] Bywater, F.; Heyner, A.; Barck, N.; Huebler, M.; Nedeß, C.; Steinhauer, D.: Entwicklung und Bewertung von Organisationsformen und prozessorientierten Regelungsstrategien für komplexe Montagefolgen am Beispiel der Schiffsausrüstung – AUSSTEUER Abschlussbericht. Förderkennzeichen BMBF 18S0198, 2002.
- [15] Steinhauer, D. et al.: GeneSim - Generisches Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionssimulation; In: Statustagung Schifffahrt und Meerestechnik 2011; Tagungsband S. 7-23; Rostock; 2011.
- [16] Sink, D.S.: Productivity Management: planning, measurement and evaluation, control and improvement. Wiley, New York et al., 1985.
- [17] Deming, W.E.: Out of the crisis: quality, productivity and competitive position. Cambridge University Press, 1986.
- [18] Syska, A.: Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden, 2006.
- [19] Ohno, T.: Das Toyota-Produktionssystem. Campus-Verlag, Frankfurt/Main u.a., 2005.
- [20] Mesenhöller, E.: Zeitdatenermittlung in indirekten Bereichen bei Einsatz von Workflow-Management-Systemen. Dissertation Universität Dortmund, Shaker Verlag, Aachen, 2004.
- [21] Singh, H.; Motwani, J.; Kumar, A.: A review and analysis of the state-of-the-art research on productivity measurement. Industrial Management & Data Systems, 100 (2000) 5, pp. 234-241.
- [22] Nebl, T.: Produktivitätsmanagement: theoretische Grundlagen, methodische Instrumentarien, Analyseergebnisse und Praxiserfahrungen zur Produktivitätssteigerung in produzierenden Unternehmen. Carl Hanser Verlag, München, 2002.
- [23] REFA: Methodenlehre der Betriebsorganisation: Datenermittlung. Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- [24] Simons, B.: Das Multimoment-Zeitmeßverfahren: Grundlagen und Anwendung. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1987.
- [25] Frühwald, C.: Analyse und Planung produktionstechnischer Rüstabläufe. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990.
- [26] Wiegand, B; Franck, P.: Lean Administration I: So werden Geschäftsprozesse transparent. Lean Management Institut, Aachen, 2008.



- [27] Heinz, K.; Olbrich, R.: Zeitdatenermittlung in indirekten Bereichen. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1989.
- [28] Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Strukturelle Analyse ganzheitlicher Produktionssysteme
- [29] Porsche Consulting – Das Magazin: „Meyer bleibt auch im Orkan auf Kurs“.  
URL:<<http://www.porscheconsulting.com/pco/de/press/porscheconsultingmagazine/issue09/>>; Abgerufen am: 08.12.2011.
- [30] Matysczok, C.; Fründ, J.; Meyer, D.: VR, AR – Im Spannungsfeld zwischen Forschung, Markt und Kundenanforderungen. In: Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung; 7. Paderborner Workshop Augmented & Virtual Reality in der Produktentstehung; Paderborn; 2008.
- [31] Zäh, M.; Patron, C.; Weber, V.: Informationstechnische Integration von Mitarbeitern in der Produktion. Nutzenpotenziale und Anwendungen von Multimedia, Augmented Vision und Augmented Reality; In: Industriemanagement 6/2003; Bremen; 2003.
- [32] Alt, T.; Schreiber W.: Qualitätssicherung mit AR-Technologien in der Automobilmontage; In CAD-CAM Report 11/2001; 2001.
- [33] Gausemeier, J.; Grafe, M; Matysczok, C.: Management industrieller Produktionsprozesse mit mobilen IT-Systemen; In: Industriemanagement 6/2003; Bremen; 2003.
- [34] Lödding, H.; Friedewald, A.; Heinig, M.; Schleusener, S.: Virtual Reality supported Assembly Planning in the Shipbuilding Industry; Journal of Ship Production and Design, 27; S. 146-152; 2011.
- [35] Friedrich, W.: ARVIKA. Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service; Erlangen; 2004.
- [36] Schreiber, W.; Zimmermann, P.: Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld, In: Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen; Heidelberg; 2011.
- [37] Alem, L.; Huang, W.: Recent Trends of Mobile Collaborative Augmented Reality Systems; Springer Science + Business Media LLC; New York, NY; 2011.
- [38] Azuma, R.: A Survey of Augmented Reality; In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6; Malibu; 1997.
- [39] Schwarzenbauer C.: Grundlagen Augmented Reality; In: Digital Media for Artists; URL:<<http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Grundlagen%3AAllgemeine/module/13964>> ; Abgerufen am: 13.12.2011.

- [40] Mader, S.; Der Einsatz von VR/AR-Methoden zur Unterstützung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten im Schiffsbetrieb; In: Virtual Reality und Augmented Reality zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme; Tagungsband 8. IFF-Wissenschaftstage; Magdeburg; 2005.
- [41] Lödding, H.; Friedewald, A.; Heinig, M.: Unterstützung von Montageaufgaben in der Unikatproduktion mit dem ViP-Toolset; In: TUHH (Hrsg.): 3. Interdisziplinärer Workshop Maritime Systeme, Tagungsband; Hamburg; 2011.
- [42] Grewe, O.; Geist, M.: Computergestützte Berechnung und Analyse von Yachtoberflächen; In: Tagungsband Go-3D 2011, 125-135; Rostock; 2011.
- [43] Weber, T.: 3D-Laserscanning im Anlagen- und Rohrleitungsbau; In: 3R - Fachzeitschrift für sichere und effiziente Rohrleitungssysteme, Heft 5; Essen; 2006
- [44] Autodesk 123D Catch; URL:< <http://www.123dapp.com/catch> >
- [45] Izadi S. et. al: KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera; In: Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '11), 559-568; New York; 2011.

Die Abbildungen im vorliegenden Dokument sind z. T. den in Kapitel 4 genannten Veröffentlichungen entnommen.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN entfällt	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel Abschlussbericht „Produktivitätsmanagement in schiffbaulichen Produktionsprozessen ermöglichen (PROSPER); Vorhaben: Basis-Methoden (BASIS)“	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding Dr.-Ing. Axel Friedewald Dipl.-Ing. Philipp Sebastian Halata Dipl.-Ing. Florian Tietze Dipl.-Ing. Fedor Tltov	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2015
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Buch
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) Institut für Produktionsmanagement und –technik (IPMT) Denickestraße 17 21073 Hamburg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution TUHH, Institut: IPMT
	10. Förderkennzeichen 03SX337A
	11. Seitenzahl 162
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 45
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 102
16. Zusätzliche Angaben entfällt	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) entfällt	
18. Kurzfassung Das Verbundvorhaben „Produktivitätsmanagement in schiffbaulichen Produktionsprozessen ermöglichen (PROSPER)“ hatte zum Ziel, die Produktivität der Werker zu steigern, indem zunächst Analysemethoden für die Produktivität der Unikatfertigung erarbeitet werden und darauf aufbauend Verfahren entwickelt werden, um Produktivitätsgewinne durch eine kontextspezifische Informationsversorgung vor Ort zu erreichen. Das entwickelte Verfahren zur Produktivitätsanalyse ermöglicht erstmals, die vielfältigen Arbeitsabläufe verschiedener Werften einheitlich zu erfassen und zu bewerten. Die hohe Praxistauglichkeit hat sich durch die Anwendung in verschiedenen Werftbereichen erwiesen. Die aufgedeckten Potenziale decken sich mit den Zielen der zeichnungsfreien Informationsversorgung. Die entwickelten Konzepte und Lösungen für eine digitale Arbeitsunterlage, auch unter Einsatz der Augmented-Reality-Technologie, befähigen die maritime Industrie, die ambitionierten Visionen einer Werft 4.0 zu erreichen. Die innovativen Demonstratoren setzen auf diesem Weg Maßstäbe und konnten bereits während des Projekts die hohen Erwartungen an die Produktivitätssteigerung erfüllen. Weiterhin konnte die Produktivität von Umbaumaßnahmen durch weiterentwickelte Methoden zur Planung und technologiegestützte Werkzeuge auch für die Angebotsphase maßgeblich gesteigert werden.	
19. Schlagwörter Produktivität, Schiffbau, Unikatproduktion, Augmented Reality, Industrie 4.0, Retrofit, Planung	
20. Verlag entfällt	21. Preis entfällt

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN not app.	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Abschlussbericht „Produktivitätsmanagement in schiffbaulichen Produktionsprozessen ermöglichen (PROSPER); Vorhaben: Basis-Methoden (BASIS)“	
4. author(s) (family name, first name(s)) Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding Dr.-Ing. Axel Friedewald Dipl.-Ing. Philipp Sebastian Halata Dipl.-Ing. Florian Tietze Dipl.-Ing. Fedor Tltov	5. end of project 31.07.2015  6. publication date  7. form of publication book
8. performing organization(s) (name, address)  Hamburg University of Technology (TUHH) Institute for Produktion Management and Technologyk (IPMT) Denickestraße 17 21073 Hamburg	9. originator's report no. -  10. reference no. 03SX337A  11. no. of pages 162
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 45  14. no. of tables 0  15. no. of figures 102
16. supplementary notes not app.	
17. presented at (title, place, date) not app.	
18. abstract The joint research project „Produktivitätsmanagement in schiffbaulichen Produktionsprozessen ermöglichen (PROSPER) – Enabling productivity management in maritime production processes“ had the objective to increase workforce productivity by first elaborating a method to analyze the productivity of the one-of-a-kind production and then developing techniques to increase the productivity gains by a context-dependent information provisioning. The new method of the productivity analysis allowed a shipyard independent and standardized assessment of manifold processes. The fitness for practical use could be shown via the application in different domains of the participating shipyards. The discovered potentials cover the objectives of the draft-free information provisioning. The developed concepts and solutions of a digital work documentation – in conventional manner as well as by Augmented Reality technology – enable the maritime industry to reach the ambitious vision of a Shipyard 4.0. The innovative demonstrators set standards and could satisfy the expectations already during the research project. Furthermore the productivity of retrofit action could be significantly increased by advanced methods for their planning and computer aided tools including the offer phase.	
19. keywords productivity, shipbuilding, one-of-a-kind production, Augmented Reality, Industry 4.0, retrofit, planning	
20. publisher not app.	21. price not app.