BMWK Verbundprojekt ProProS

„Proaktive Produktionssteuerung für die Produktion maritimer Systeme“

Abschlussbericht

Teilvorhaben

„Proaktive Produktionssteuerung für die schiffbauliche Fertigung und Ausrüstung“

Auftraggeber	BMWK - Forschungszentrum Jülich GmbH Projektträger Jülich Postfach 610247 10179 Berlin
Auftragnehmer	Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG Zum Alten Speicher 11 28759 Bremen
Förderkennzeichen	03SX492A
Projektkoordinator	Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG
Forschungspartner	PROSTEP WZL der RWTH Aachen
Projektlaufzeit	01.Dezember 2019 bis 31.Mai 2023 (42 Monate)

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation ... 4

2. Aufgabenstellung und globale Ziele ... 4

2.1. Bezug zu förderpolitischen Zielen ... 5

2.2. Planung und Ablauf ... 5

2.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand ... 8

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Stellen ... 9

2.5. Angestrebter Fortschritt gegenüber dem Stand von Wissenschaft und Technik ... 10

3. Eingehende Darstellung der Ergebnisse ... 10

3.1. Arbeitspaket 1: Anforderungsaufnahme ... 10

3.1.1. AP 1.1 Analyse der Fertigungs-Prozessketten ... 10

3.1.2. AP 1.2 Analyse der aktuellen Produktions-Planung und Steuerung ... 13

3.1.3. AP 1.3 Analyse der Einfluss- und Störgrößen ... 15

3.1.4. AP 1.4 Bedarf und Anforderungen an erforderliche Hardware ... 18

3.2. Arbeitspaket 2 Datenmodell ... 19

3.2.1. AP 2.1 Spezifikation für das Datenmodell ... 19

3.2.2. AP 2.2 Strategien zu Digitalisierung und Echtzeitbefähigung ... 21

3.2.3. AP 2.3 Spezifikation der erforderlichen Hardware ... 22

3.3. Arbeitspaket 3 Umsetzung ... 22

3.3.1. AP 3.1 Systemintegration Hardware und Erprobung der Einzelsysteme ... 23

3.3.2. AP 3.2 Integration und Funktionsprüfung der Software-Bausteine ... 24

3.3.3. AP 3.3 Gestaltung und Erprobung der Benutzeroberflächen ... 26

3.4. Arbeitspaket 4 Verifikation ... 27

3.4.1. AP 4.1 Anwendung des Demonstrators ... 27

3.4.2. AP 4.2 Fehlerbeseitigung und Optimierung der Informationsflüsse ... 27

4. Notwendig und Angemessenheit der geleisteten Arbeit ... 27

5. Voraussichtlicher Nutzen ... 28

6. Bekannt gewordenen Fortschritts bei anderen Stellen ... 28

7. Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen ... 28

Abkürzungen:

FLW	Friedrich Lürssen Werft GmbH & Co. KG
PTJ	BMWK - Forschungszentrum Jülich GmbH
PROSTEP	PROSTEP AG
WZL	Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen
RWTH Aachen	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

1. Motivation

Typischerweise wurden die Produktionsprozesse im Handelsschiffbau geprägt von einem großen Umfang von projektübergreifend eingesetzter Standards und einer dadurch hohen Wiederholrate von sowohl globalen Entwurf als auch größerer Module und konstruktiver Details. Der Bau der Sektionen und Schiffsrümpfe erfolgte selbstorganisiert und gesteuert durch Meister oder Vorarbeiter in der Werkstatt, und hatte den Charakter einer fließbandähnlichen Serienproduktion.

Bei der Planung von Schiffbauprojekten war es in dieser Phase ausreichend, die Konstruktions- und Fertigungsprozesse in einer geringen Detailtiefe und in ausgeprägt idealisierten Form abzubilden. Auch die Planungskennziffern (zum Beispiel Arbeitsstunden je Tonne Stahl) waren aufgrund der wenig variierten Produkte von hoher Verlässlichkeit mit geringer Varianz. Nachteilig war eine ausgeprägte Inflexibilität bei Abweichungen von den Standards.

Da Lohnkosten im kommerziellen Handelsschiffbau einen deutlich höheren Anteil an den Gesamtkosten ausmachen, ist der Bau einfacher Handelsschiffe in Deutschland aufgrund der oft unfairen internationalen Konkurrenz durch staatliche Subventionen oder geringerer Lohnkosten seit Jahren nicht mehr wirtschaftlich und wurde aufgegeben und eingestellt.

Als Alternative sind viele schiffbauliche Unternehmen auf Nischenmärkte ausgewichen, so zum Beispiel auf den Bau von Offshore-Strukturen oder Spezialschiffen.

Typischerweise liegt der Anteil der Lohnkosten deutlich, zum Teil erheblich, unter denen kommerzieller Projekte, so dass die Aufträge auskömmlicher sind. Die Projekte sind geprägt von weitgehender Parallelisierung des Entwurfs, der Detailkonstruktion der Produktion / Inbetriebnahme und Erprobung, sowie einer produktbedingt hohen Komplexität und einem geringen Eigenanteil an der Wertschöpfung. Aufgrund der langen Bauzeit ist der Termindruck im Vergleich zu einfacheren Serienprodukten daher in der Regel deutlich größer. Hinzu kommt ein zunehmender Kostendruck durch die Konkurrenz (ost-) europäischer und internationaler Marktteilnehmer um die Aufträge.

Mit Einstieg in den Spezialschiffbau liegen Systemvielfalt und –Komplexität der Projekte deutlich höher, so dass deren Integration deutlich mehr Montageaufwand und Bauzeit bedeutet. Aber sowohl eine Verlängerung der Bauzeit, als auch höhere Baukosten lassen sich nur in engen Grenzen am Markt realisieren.

Hier haben die Unternehmen einen erheblichen Vorteil gegenüber den Mitbewerbern, welche ein hohes Maß an Flexibilität, geringe Bauzeiten und möglichst geringe Kosten anbieten können. Hier Verbesserungen herzustellen und die Wettbewerbsfähigkeiten zu erhalten oder zu vergrößern, war Motivation für dieses Forschungsprojekt.

2. Aufgabenstellung und globale Ziele

Im Zuge der Formulierung der Zielstellung stellte sich als nächstes die Frage, welcher für Bau und Ausrüstung vorgesehenen Teilbereich von Konstruktions-, Arbeitsvorbereitungs- und Produktions-Aktivitäten in Kombination mit den dafür eingesetzten Maschinen und Anlagen die lohnendsten Effekte auf die Zielerreichung / Arbeitsschritt / Maschine / Anlage für sich hat; bzw. für den Bauprozess möglichst viel Verbesserungspotential erwarten lässt.

Während die Fertigungsmethoden (zum Beispiel: Schweißverfahren, Brennschneidtechnik, Automatisierung, aufgrund des sehr viel größeren Einsatzspektrums in der metallverarbeitenden Industrie außerhalb des Schiffbaus kontinuierlich modernisiert wurden, wurde tendenziell weniger in die Weiterentwicklung der oft noch eher meisterlich als industriell organisierten Planung & Steuerung der Produktion investiert. So ist davon auszugehen, dass der Maschinen- und Anlagenpark weitestgehend dem Stand der Technik entspricht und das Verbesserungspotential eher im geringen oder moderaten Umfang zu erwarten war.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde die Suche nach Lösungsansätzen mit Potential zur Senkung von Bauzeit und Kosten im schiffbaulichen Produktionsprozess fokussiert auf Verbesserungen von Planungs- und Steuerungsprozessen.

Die Ausgangssituation in diesem Themengebiet war, dass Aktivitäten mangels aktueller und verlässlicher Informationen zum Produktionsprozess ad hoc in der Fertigung oder auf der Baustelle vor Ort entschieden werden mussten; insbesondere dann, wenn Abweichungen vom Plan erforderlich waren. Die Rückmeldungen über den Fertigungsstatus erforderten viel Aufwand, waren eher subjektiv und erfolgten meist nur rudimentär und sowie in zu großen zeitlichen Intervallen. Dadurch ist trotz großen Zeit- und Ressourcenaufwand insgesamt nur eine geringe Transparenz in Bezug auf Projektstatus und –fortschritt erreichbar gewesen.

Ebenso war der Anteil von nicht wertschöpfender Tätigkeit bei der Planung und Steuerung der Fertigungsprozesse an sich sehr hoch, als Folge der geringen Flexibilität und Fokussierung auf Einzelvorgänge mit überwiegend unzureichender Berücksichtigung von Abhängigkeiten oder logischen Verknüpfungen, aufgrund fehlender oder falscher Informationen sowie deren hoher Unschärfe. Auswirkung von Änderungen waren so gut wie nicht prognostizierbar, ebenso konnten Störungen meist erst sehr spät oder unmittelbar bei Eintreten erkannt werden. So konnte überwiegend nur reagiert werden, da wichtige Informationen und der Überblick fehlten, um überhaupt angemessen und zielgerichtet agieren zu können.

Mit Hilfe dieses Vorhabens ist erreicht worden, dass aktuell die verschiedenen Prozesse der Konstruktion, Planung und Produktion besser miteinander verknüpft sind, eine hohe Transparenz und Vorausplanbarkeit erreicht wird und somit Möglichkeiten verbessert wurden, frühzeitig potentielle Störungen zu erkennen und diese proaktiv und rechtzeitig zu beheben oder sinnvolle Planänderungen einzusteuern. Der Aufwand für Planungs- und Steuerungsaktivitäten konnte trotz kleinteiligerer Vorgänge gesenkt werden. Im Ergebnis kann sichergestellt werden, dass die benötigten Fertigungsinformationen und Materialen zum richtigen Zeitpunkt am definierten Ort verfügbar sind und deren aktueller Status als Information in den Haussystemen verfügbar ist.

Letztendlich ist das globale Projektziel erreicht worden, einen effizienteren Produktionsablauf mit gleichmäßig ausgelasteten Ressourcen, geringen Schwankungen, einem hohen Anteil wertschöpfender Tätigkeiten und mit geringstmöglichen Auswirkungen bei IST-Abweichungen vom SOLL sicherzustellen.

2.1. Bezug zu förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben lässt sich thematisch den förderpolitischen Zielen des BMWi im Rahmen des maritimen Forschungsprogramms zuordnen. Speziell das Querschnittsthema MARITIME.smart – Maritime Digitalisierung und smarte Technologien und der Bereich Produktion maritimer Systeme werden angesprochen. Dabei werden insbesondere die folgenden strategischen Ziele adressiert:

- Steigerung von Produktivität und Qualität
- Erhöhung der Transparenz des Produktionsprozesses
- Verkürzung der Durchlaufzeiten
- Steigerung der Vernetzung und Digitalisierung (SMART FACTORY)

2.2. Planung und Ablauf

Das gesamte Vorhaben wurde in vier fachliche Teilbereiche unterteilt, die als Arbeitspakete angelegt wurden. Jedes Arbeitspaket wude einem AP – Koordinator zugeordnet. Die Forschungsaktivitäten der einzelnen Konsortialpartner wurden in Form von Arbeitsgängen angelegt und den entsprechenden Arbeitspaketen zugeordnet.

Die nachfolgende Tabelle stellt die Gesamtstruktur des Vorhabens dar:

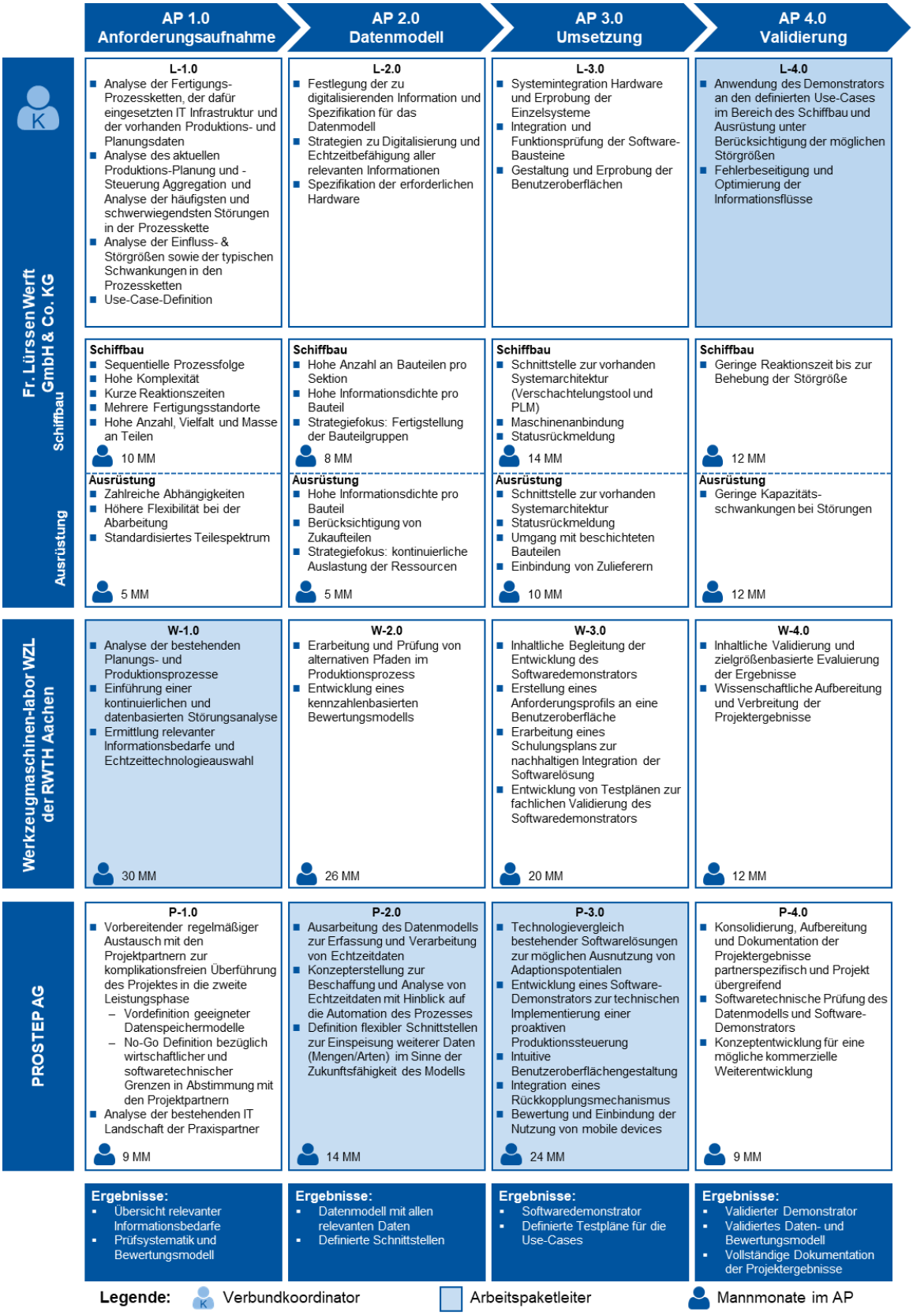

Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur

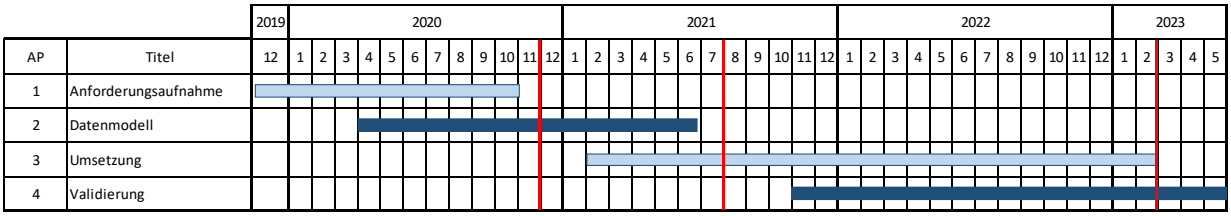

Abbildung 2: Planung der Arbeitspakete und Meilensteine

Meilensteine:

M1: Anforderungsaufnahme abgeschlossen

Das Ergebnis für den 1. Meilenstein war eine Übersicht aller relevanter Informationsbedarfe, eine Prüfsystematik sowie ein Bewertungsmodell für die Ergebnisse der Prüfungen. Die Resultate aus dem AP1 gehen vollumfänglich in die folgenden AP ein.

AP2 läuft über mehrere Monate parallel zu AP1, so dass hier ein kontinuierlicher iterativer Abgleich stattfinden konnte, so dass eine umfängliche Aufnahme aller Anforderungen gewährleistet wurde und alle folgenden Tätigkeiten eine solide Basis erhalten haben.

Auf diesem Wege wurden auch noch nachlaufende oder zusätzliche, im Vorfeld nicht erkennbare Anforderungen, Störgrößen oder ähnliches eingearbeitet, die dadurch zusätzlich für die Folgeprozesse verfügbar gemacht werden konnten.

M2: Datenbasis & Datenplattform: Datenmodell für die proaktive Produktionssteuerung wurde definiert

Als Ergebnis für die Erfüllung des 2. Meilensteins wurde die Fertigstellung eines Datenmodells mit allen relevanten Daten und die definierten Schnittstellen zu den kommunizierenden Systemen erreicht.

Dieses Datenmodell bildet die Grundlage für die softwaretechnische Umsetzung und wurde daher entsprechend sorgfältig entwickelt. Dass Ziel, möglichst viele zu verarbeitenden Daten digital einzulesen, wurde erreicht; wobei ein Anteil der Daten von zum Beispiel noch nicht realisierten Maschinenfunktionen oder Schnittstellen von Hand erzeugt wurden, jedoch formatiert als einlesbare Daten, so dass die jeweilige Softwareversion ohne qualitative Abstriche programmiert und nachfolgend getestet werden konnte.

M3: Validierter Demonstrator: Verifizierung der gesamten Prozesskette

Als Ergebnisse für die Erfüllung von Meilenstein 3 war ursprünglich die Fertigstellung der Demonstrator-Software in Verbindung mit einer abgestimmten Ablaufplanung der spezifizierten Erprobungen und Tests für die Use-Cases im Schiffbau und der Ausrüstung aufgerufen.

Auf Grund der von PROSTEP vorgeschlagenen Software-Entwicklung als agiler Prozess der am Scrum-Verfahren orientiert wurde, hat der Meilenstein seinen ursprünglichen Zweck verloren, da im angewendeten Entwicklungsprozess in Teilschritten vorgegangen wurde, was unvermeidlich zu einer ausgeprägten Unschärfe der ursprünglichen, klassischen Balkenplanung geführt hätte. Jeder Teilschritt im Scrum-Verfahren stellte einen vollständigen Entwicklungszyklus inklusive Anforderungen, Programmierung, Erprobung und Verifikation dar, dessen fachlicher Umfang jedoch nur eine Teilmenge des Gesamtumfangs umfassen einzeln mit 3 Wochen Zeitversatz bearbeitet wurden. Der Vorteil dieser iterativen Entwicklungsmethodik ist ein näher am Kundenbedarf orientiertes Ergebnis bzw. ein reduziertes Risiko von Fehlentwicklungen.

Dadurch gelang es dem Entwickler-Team, dass das Projekt ProProS erfolgreich beendet wurde und die Bereitstellung eines funktionalen Werkzeugs zur weiteren Verwendung, bzw. Vermarktung gelungen ist.

2.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand

In der Wissenschaft existieren bereits Ansätze, welche sich mit der Thematik der Baustellenmontage großskaliger Produkte auseinandersetzen. So wurden beispielsweise in Forschungsprojekten [1],[2] des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen und des Instituts für Integrierte Produktion Hannover Methoden entwickelt, welche eine transparente Abbildung von Montageprozessen großskaliger Produkte ermöglichen und darüber hinaus bei Störungen im Montageablauf bezüglich der Auswahl einer Montageprozessalternative unterstützen. Beiden Projekten ist der reaktive Charakter gemein, der eine schnelle Reaktion bei Auftreten einer Störung zum Ziel hat. Darauf aufbauend soll im Projekt ProProS die Störungserkennung weiter nach vorn, hin zur proaktiven Antizipation verlagert werden. Die Generierung und Verwendung von Echtzeitdaten im gesamten Produktionsprozess ist hierzu essentiell.

Eine Methodik, welche sich gezielt mit der Produktion maritimer Systeme auseinandersetzt, stammt aus einem Forschungsprojekt [3] des Instituts für Produktionsmanagement und -technik der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Das Kernergebnis dieses Vorhabens stellt ein Software-Tool dar, welches simulationsgestützt die Produktionsplanung optimiert, um die Produktivität der Fertigung zu erhöhen. Ein weiteres Projekt [4] aus dem Bereich des Schiffbaus wurde unter Leitung der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG durchgeführt und hatte die Entwicklung von Methoden zur Aufbereitung, Prüfung und Verbesserung von Planungsgrundlagen im Schiffbau mit Hilfe von Simulation zum Ziel. Der Fokus hierbei lag auf der Produktionsplanung und der dafür notwendigen Datenbasis. Für beide Projekte war die umfassende Einbindung von Echtzeitdaten der logische nächste Schritt um den Sprung von einmaliger Optimierung zu kontinuierlicher Überprüfung und Störungsantizipation zu ermöglichen. Dieser Schritt ist mit ProProS möglich gemacht worden.

Der Aspekt der Nutzung von Daten zum Störungsmanagement ist in einem weiteren Forschungsprojekt [5] des Werkzeugmaschinenlabors WZL mit dem FIR e. V. an der RWTH Aachen und mehreren Industriepartnern aufgegriffen worden. In diesem wurde eine branchenunabhängige Big-Data-Plattform entwickelt, die mittels datenbasierter Entscheidungsfindung ein proaktives Reaktionsmanagement ermöglicht. Der Fokus liegt neben der Nutzung von Produktions- und Unternehmensdaten auf der Integration des Menschen mithilfe von Sensorik zur Erfassung und Auswertung von Daten menschlicher Kommunikation und Stressfaktoren. Anhand einer FMEA kann die Plattform Handlungsempfehlungen ableiten. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus diesem Projekt kann als Ergebnis des vorliegenden Forschungsprojekts die Logik und Systematik zur Findung alternativer Prozessfolgen wesentlich detailliert und die Spezifika der Baustellenmontage berücksichtigt werden. Zudem war es möglich auf die Besonderheiten der maritimen Branche einzugehen und deren spezielle Anforderungen bei der Entwicklung zu berücksichtigen. Charakteristisch war dabei die vergleichsweise geringe Menge bereits vorliegender Daten (z.B. durch Sensorik).

Die aufgeführten Ansätze, mit Ausnahme des letzten, haben gemein, dass sie ausschließlich zur Reaktion auf Störungen eingesetzt werden können und kein proaktives Handeln zur Vermeidung von Störungen

---

[1] Entwicklung einer Methode zur simulationsgestützten Steuerung in der Baustellenmontage (DFG)

[2] Entwicklung einer Methode für kurzfristige Anpassungen in der Montage von XXL-Produkten (IGF)

[3] SIMGO - Entwicklung einer Methodik zur simulationsgestützten Optimierung in der schiffbaulichen Produktionsplanung (BMWi)

[4] HEPP - Hocheffiziente Produktionsplanung für Prototypenkompetenz (BMWi

[5] Einsatz von Big-Data-Technologien zum Störungsmanagement in der Produktion (BMBF)

zulassen. Von großer Bedeutung für die Ausarbeitung proaktiver Methoden ist die Einbindung und, in der maritimen Industrie insbesondere, die Beschaffung von Echtzeitdaten, welche auf Störungen, wie beispielsweise fehlende Materialien oder Qualitätsprobleme, hindeuten können. Ein Konzept für die Beschaffung und Verarbeitung dieser Daten sowie die Nutzbarmachung durch bspw. Predictive Analytics-Methoden im Rahmen maritimer Systeme war bislang nicht existent und ist daher ein Teilergebnis dieses Forschungsvorhabens geworden. Beim zuletzt vorgestellten Projekt handelt es sich zwar um einen proaktiven Ansatz der unter anderem auf Echtzeitdaten basiert, bildete jedoch die Generierung und Bewertung von möglichen Montagealternativen nicht umfangreich genug ab. Zudem waren die besonderen Anforderungen der maritimen Industrie nicht berücksichtigt.

	Nutzung von Echtzeitdaten	Proaktive Störungsprävention	Bewertung und Auswahl von Montagealternativen	Anforderungen der maritimen Industrie
Entwicklung einer Methode zur simulationsgestützten Steuerung in der Baustellenmontage (DFG)	○	○	●	◑
Entwicklung einer Methode für kurzfristige Anpassungen in der Montage von XXL-Produkten (IGF)	○	○	●	◑
Entwicklung einer Methodik zur simulationsgestützten Optimierung in der schiffbaulichen Produktionsplanung (BMWi)	○	○	◔	●
Hocheffiziente Produktionsplanung für Prototypenkompetenz (BMWi)	○	○	◔	●
Einsatz von Big-Data-Technologien zum Störungsmanagement in der Produktion (BMBF)	◔	◕	◔	○

Abbildung 3: Übersicht relevanter Forschungsprojekte und Überdeckung mit ProProS

Ein in der Industrie häufig eingesetztes Hilfsmittel sind PPS-Systeme (Produktionsplanungs- und Steuerungssystem), also Software zur Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung zur damit verbundenen Datenverwaltung. Da PPS-Systeme keine direkte Steuerung der Produktion vorsehen, erfolgt die operative Steuerung der Produktion meist durch ein Manufacturing Exekution System (MES). Das MES erhält vom PPS-System – über eine Schnittstelle – die Fertigungsaufträge. Die erzielten Produktionsergebnisse werden erfasst und an das PPS-System zurückgemeldet, das diese im nächsten Planungslauf berücksichtigt. Dadurch kann ein entsprechender Regelkreis zur Produktionssteuerung aufgebaut werden.

Häufig sind, neben Standardlösungen, Individuallösungen im Einsatz. Die Analyse am Markt verfügbarer PPS-Systeme zeigte, dass keines ein echtes proaktives Risikomanagement ermöglicht wurde. Weiterhin bietet nur ein Bruchteil der Systeme eine Cloud-Anbindung oder den Einsatz von cloudbasiertem Datenmanagement an. In Bezug auf eine Proaktivität hinsichtlich Störungen bieten einzelne Systeme ein „Frühwarnsystem“, dies allerdings ausschließlich in Zusammenhang mit einer Bestandsprüfung in Kombination mit einer dazu abgestimmten Beschaffungsstrategie.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass weder bisherige Forschungsprojekte noch kommerziell erwerbbare Softwarelösungen alle Anforderungen an ein proaktives Störungsmanagement in der maritimen Industrie bislang ausreichend erfüllt haben. Diese Lücke konnte als Ergebnis des Forschungsprojekts ProProS geschlossen werden.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben den Projektpartnern waren keine weiteren Unternehmen in das Vorhaben eingebunden.

2.5. Angestrebter Fortschritt gegenüber dem Stand von Wissenschaft und Technik

Im Rahmen der Entwicklung der proaktiven Produktionssteuerung sind die Daten in einem System verfügbar gemacht worden, so dass folgende Ziele erreicht werden:

- Permanente Datenverfügbarkeit und Datendurchgängigkeit
- Transparenz in den Prozessen
- Prognosefähigkeit -> proaktive Störungsvermeidung
- Aktualität der Daten / Echtzeitdaten
- Simulation von Produktionsvorgängen durch digitalen Zwilling

Im zukünftigen Prozess wird der Mitarbeiter die benötigten Informationen für seine Arbeit aus einem zentralen System abrufen können. Über die Identifizierung des Bauteils z.B. mittels eines Handscanners, werden alle für den Arbeitsschritt erforderlichen Informationen am Bildschirm angezeigt, so dass ohne Suchaufwand der Auftrag abgearbeitet werden kann. Über das Einlesen eines Bauteils wird der momentane Status erfasst. Nach Abschluss der Arbeit wird dies im System quittiert, so dass der Bearbeitungsstatus eines Bauteils stets bekannt und abgerufen werden kann.

Über die proaktive Produktionssteuerung sind stets die aktuellen Daten verfügbar, Suchzeiten werden weitgehend eliminiert, Fehler werden vermieden, frühzeitiges Eingreifen bei Störungen wird ermöglicht, der Status einzelner Bauteile und Baugruppen ist aktuell verfügbar, Fehlteile sind weitgehen eliminiert und eine effiziente Kapazitätsplanung der Mitarbeiter wird erheblich erleichtert.

3. Eingehende Darstellung der Ergebnisse

3.1. Arbeitspaket 1: Anforderungsaufnahme

3.1.1. AP 1.1 Analyse der Fertigungs-Prozessketten

Zunächst wurde der Informationsbedarf der Projektbeteiligten und Partner ermittelt, der für die Bearbeitung der Aufgaben verfügbar sein musste. Die FLW stellte alle potentiell relevanten Prozessdokumente - inklusive Informations- und Materialfluss - dargestellt als Schwimmbahnen in der zu dem Zeitpunkt gültigen Revision für die Projektbearbeitung zur Verfügung. Ebenso wurden für eine Steuerung von Produktionsprozessen relevante Maschinen und Anlagen verfügbare Informationen bereitgestellt, bzw. beschafft. Ergänzt wurde die Erhebung durch die Durchsicht einer zwei Jahre zuvor in der Schiffbaufertigung durchgeführten Informationsstrukturanalyse und deren Erkenntnisse. Das WZL und PROSTEP stellten notwendiges Methodenwissen - wie zum Beispiel den Einsatz von „Userstories“ für die Erhebung von Kundenanforderungen bei der Software-Entwicklung - zur Verfügung.

Alle eingehenden Dokumente wurden gesichtet und in Confluence strukturiert abgelegt. Auf diesem Wege wurde sichergestellt, dass alle Projektbeteiligten Zugang zu den gleichen Informationen haben, und diese auch die aktuellen sind. Zunächst wurden verfügbare Dokumentationen von relevanten Prozessen der FLW gesichtet und dokumentiert. Hierzu wurde wurden die Programme YEd (Prozessdarstellung) und Confluence (Datenmanagement) verwendet.

Unter anderem anhand dieser Dokumente machten sich unsere Projektpartner mit den typischen Arbeitsabläufen und Schnittstellen von schiffbaulicher Fertigung, Arbeitsvorbereitung und Planung vertraut.

Prozessanalysen

Die Aufnahme der Arbeitsprozesse und der IT Struktur wurden nach gleichem Schema – Aufnahme => Modellierung => Analyse und Priorisierung => Definition des SOLL-Zustandes für die weitere Projektbearbeitung– jedoch unabhängig voneinander durchgeführt. [Abbildung 4]

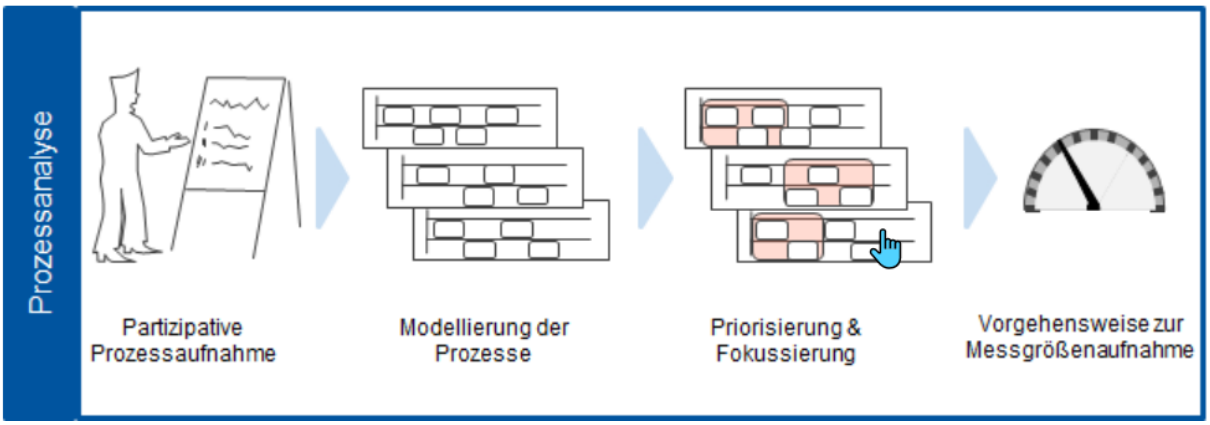

Abbildung 4: Ablauf der Prozessanalysen

Partizipative Aufnahme IST-Prozesse

Prozessual lag der Fokus auf der Eingangsschnittstelle Konstruktion Arbeitsvorbereitung, betrachtet wurden die Vorgänge im CAM, Arbeitsvorbereitung, Produktion bis zum Abschluss der Montage, sowie die Interaktion mit der mitlaufenden Planung. Die Erstellung einer aktuellen und vollständigen Prozesslandkarte wurde für den Sektionsbau und die Fundamentfertigung (jeweils inklusive der Bordmontage) erfolgreich abgeschlossen. Die Aufnahme umfasste im Detail die relevanten, vorhandenen Fertigungsprozesse (Prozessketten), inklusive Schnittstellen zur Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Ausrüstungs-, Einrichtungs-, Maschinenbau-Fertigung, externen Dienstleistern, Materialbereitstellung, Dokumentation, Qualitätssicherung, usw. Die vorliegende Dokumentation wurde in Form von Online Workshops gemeinsam mit den Prozesseignern der FLW überprüft und in einer Prozesslandkarte zusammengeführt.

Die erhobenen Prozesslandkarten für den Sektionsbau und die Fundamentfertigung (jeweils inklusive der Bordmontage) bilden im Weiteren die Grundlage für die Entwicklung der proaktiven Planungs- und Steuerungsfunktionen.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft den Materialfluss in der Sektionsfertigung. Ein Brennteil für eine Sektion durchläuft eine Reihe von unterschiedlichen Prozessschritten bis zur abschließenden Sektionsmontage. Einige Prozessschritte können in parallel geschalteten Arbeitsstationen abgearbeitet werden. Aus der Vielfalt der Möglichkeiten ergeben sich beim Anwendungspartner 57 mögliche Routen eines einzelnen Bauteils von der Brennmaschine bis zur Sektion.

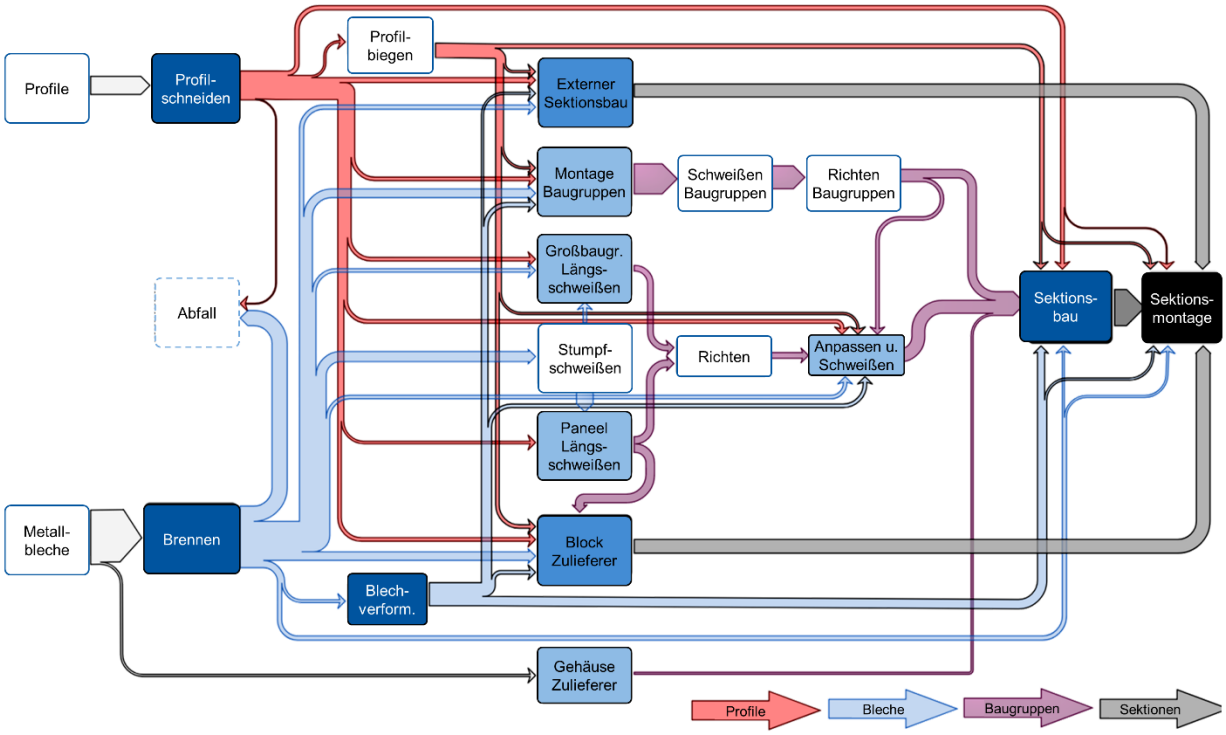

Abbildung 5: Materialfluss in der Sektionsfertigung

Dokumentation der IT-Landschaft:

Zusammen mit der IT wurde für die für ProProS relevanten Vorgänge eine Übersicht über die Erzeugung, den Austausch und die Verarbeitung / Verwendung von Daten, sowie der dafür eingesetzten Autorensysteme bzw. Software geschaffen (Abbildung 6). Im Zuge dessen wurde auch erfasst, welche Informationen bereits digital und / oder echtzeitfähig verfügbar sind. Aufgrund vieler kleinerer paralleler Projekte zur Digitalisierung wurde eine umfangreichere Recherche und Abstimmung nötig, um alle betriebsinternen Aktivitäten mit dem ProProS Projekt sinnvoll zu synchronisieren.

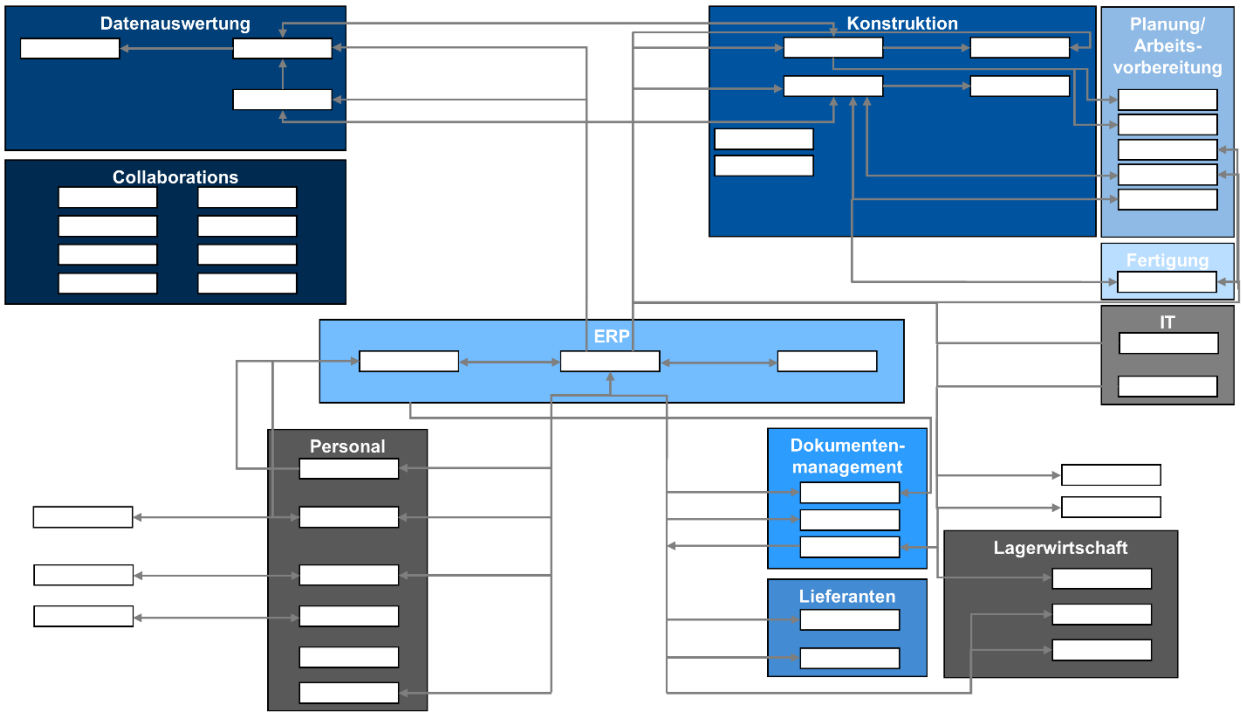

Abbildung 6: IT Systemlandschaft

3.1.2. AP 1.2 Analyse der aktuellen Produktions-Planung und Steuerung

Ein Kernelement der Weiterentwicklung innerhalb des ProProS-Forschungsprojekts war die Anpassung der Planungsprozesse. Zum einen wurde die Planung der Prozesse bis zum Ende der Sektionsfertigung von der Vorwärts- auf eine Rückwärtsplanung umgestellt. Damit wird das Ziel eines möglichst späten Brennbeginns verfolgt (vgl. Abbildung 7). Hierdurch wird der Konstruktionsvorlauf erhöht und gleichzeitig werden Lagerzeiten minimiert. Gleichzeitig wird die Granularität der Planung erhöht. Anstatt in starren Liefersteps zu planen, werden die Bauteile bedarfsorientiert in Gruppen zusammengefasst. Die Baufolge einer Sektion erfolgte entsprechend der definierten Liefersteps. Dies wird umgestellt und bereits im CAD-Modell vordefiniert, so dass hieraus automatisch eine Baufolge generiert werden kann.

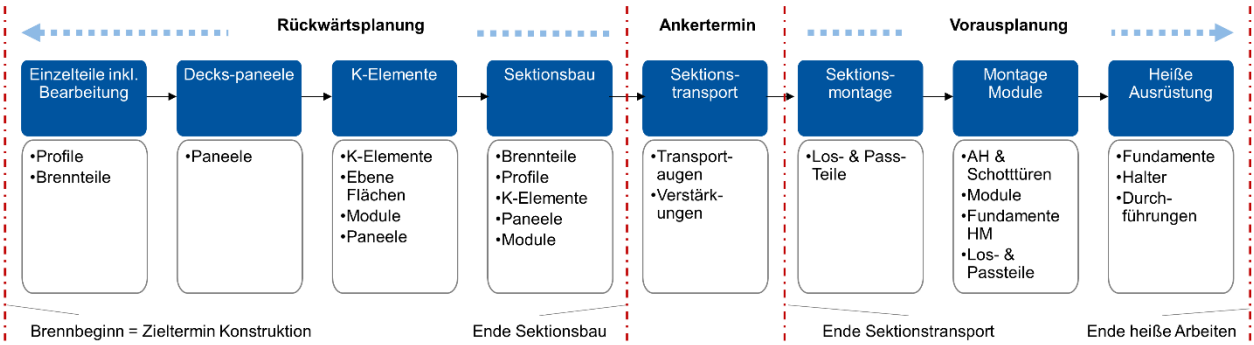

Abbildung 7 Vorwärts- auf Rückwärtsplanung durch Terminierung ausgehend von einem Ankertermin

Für die genauere Planung der Durchlaufzeiten wurden im Rahmen der Entwicklung der Methodik Fertigungszeiten ermittelt und in einem Rechenmodell abgebildet. Dadurch werden Stillstandzeiten vermieden und eine höhere Auslastung der Anlagen erreicht.

Definition der Soll-Prozesse:

Die Definition der Soll-Prozesse gründete sich im Weiteren auf die Ergebnisse einer gemeinsam im Konsortium unter Federführung von PROSTEP durchgeführten Informationsfluss-Analyse. Der Fokus war auf die Ertüchtigung der IST-Prozesse für eine Digitalisierung sowie eine Prozesssteuerung auf Basis von Echtzeitdaten ausgerichtet, und war bewusst nicht als herkömmliche Prozessoptimierung vorgesehen. Als Bestandteil der Bearbeitung wurde kontinuierlich geprüft, ob Anpassungen des Fertigungsprozesses für die Zielerreichung / Umsetzung erforderlich geworden waren. Im Zuge der Bearbeitung wurden gleichzeitig inhaltliche und logische Fehler beseitigt.

Es wurden notwendige Vorbereitungen für die folgende Digitalisierung und Funktionsprogrammierung geklärt und festgelegt, welche der Daten zur Produktionsplanung und -steuerung wozu benötigt werden, benötigt und abgebildet werden sollen. Es wurde in diesen Kontext überprüft, ob alle Informationen vollständig verfügbar sind. Dabei war zu berücksichtigenden Maschinen und Anlagen (Anlagenfunktion, Betriebssoftware, Schnittstellen, Steuer- und Kenndaten, …)

Geeignete digitale Abbildung der Fertigungsprozesse durch Verknüpfung der Eingangsschnittstellen, der Statusinformationen und der Ausgangsschnittstellen von Einzelstationen und Transportwegen. Auch zu klären war insbesondere, wie die „Echtzeitfähigkeit“ konkret zu gestalten war. Vermieden werden sollte das Prinzip „so genau wie möglich“, um die Performance des Demonstrators nicht von vornherein zu kompromittieren.

Die Echtzeitfähigkeit eines Systems wird im Allgemeinen als eine ausreichend rechtzeitige Ergebnisausgabe unter Einhaltung einer Zeitbedingung beschrieben (Rechtzeitigkeitsbedingung). Um den Begriff der Echtzeit im Kontext der Störungsbehebung und Produktionsplanung/-steuerung in schiffbaulichen Produktionssystemen zu verwenden, wurde die allgemeine Definition präzisiert.

Demnach muss zur Erreichung der Echtzeitfähigkeit von Produktionssystemen im Schiffbau sowohl die Rechtzeitigkeits- als auch eine Qualitätsbedingung erfüllt werden.

Im Rahmen der Spezifizierung der Rechtzeitigkeitsbedingung wurde die Unterteilung der Reaktionszeit in ihre Bestandteile erarbeitet, die bereits in der Störungsanalyse genutzt wurde. Die Qualitätsbedingung ist bei Einhaltung einer Mindest-Planungsqualität erfüllt und lässt sich über die Ausprägung der logistischen Zielgrößen bewerten. Mithilfe dieser Bedingung lassen sich ebenfalls Aussagen über den Nutzen des produktionstechnischen Echtzeitsystems treffen.

Die Umstellung von manuellen zu softwareunterstützten Abläufen erforderte die Anpassung vorhandener Prozesse. Auch wurden prozessuale Verbesserungen bei der Gelegenheit berücksichtigt. Der Soll-Prozess wurde derart ausgelegt, dass eine Track-and-Trace-Funktionalität gegeben ist. Somit sind die einzelnen Bauteile bzw. Baugruppen identifizierbar und über die jeweilige Arbeitsstation auch ortbar.

Da in der zukünftigen Produktionssteuerung jedes Einzelteil wie auch Brennteile einzeln terminiert wird, ist es z.B. für das Brennen möglich geworden, die Verschachtelung „sortenreiner“ Materialpakete aufzugeben, und bedarfsorientiert nach Termin und Blechdicke zu schachteln. Die Reduzierung des Verschnitts um 1 % birgt das Potential einer Kostenreduzierung pro Schiffbauprojekt von bis zu 85.000 €. Dem gegenüber steht zwar Mehraufwand, da die Brennteile zu unterschiedlichen Baugruppen gehören, sortiert werden muss. Der Mehraufwand ist jedoch marginal. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Liegezeiten für die Brennteile reduziert werden können. Durch diese Herangehensweise können im Sinne des Projektzieles Liegezeiten, Fertigungsaufwand und Kosten reduziert werden.

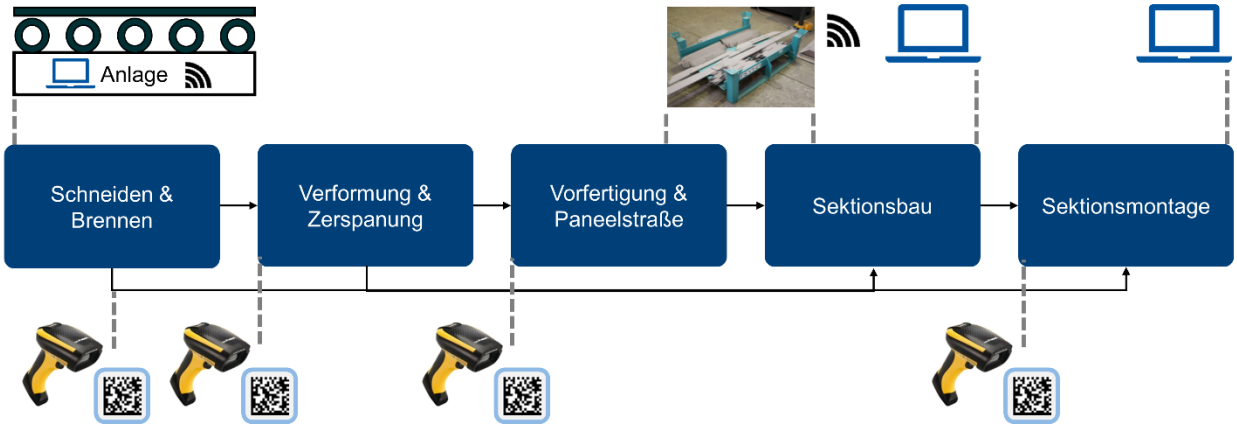

Abbildung 8: Hardware-Installationen für Track-and-Trace im definierten Soll-Prozess in der Sektionsfertigung

Die gesamte Reaktionszeit ist die Summe der Detektions-, Erfassungs-, Übermittlungs-, Berechnungs- und Implementierungszeit unterteilt. Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchung ist, dass der Hauptteil der Reaktionszeit auf die Detektionszeit, also die Zeit zur Erkennung der Störung, entfällt. Diese Erkenntnis bestätigt den Bedarf und den Nutzen eines von den Praktikern bereits seit längerem geforderten Einsatz von Track-&-Trace-Technologie für die schiffbauliche Fertigung.

3.1.3. AP 1.3 Analyse der Einfluss- und Störgrößen

Als Störungen werden sowohl spontane Einzelereignisse, als auch sich längerfristig entwickelnde Abweichungen von Soll- und IST Werten verstanden. Systemische Reaktion kann sowohl ein ereignisabhängiger Alarm, als auch eine Ereigniseskalation unterhalb festgelegter Grenzwerte / Toleranzbereich sein.

Die Produktionsplanung und -steuerung hatte bis dato unterschiedliche Informationen, Methoden und Werkzeuge für die Planung und Steuerung der schiffbaulichen Produktions- und Montageprozesse verwendet. Dafür benutzte Tools waren in der Regel Insellösungen, mit häufigen Brüchen bei den Formaten und der Datenkonsistenz. Für die Entwicklung des Datenmodells war es daher essentiell, in den vorhandenen Arbeitsweisen, die für die Digitalisierung relevanten Tools und Eingangsdaten exakt zu erfassen und auf eine „Single Source of Truth“ reduziert zu vereinheitlichen.

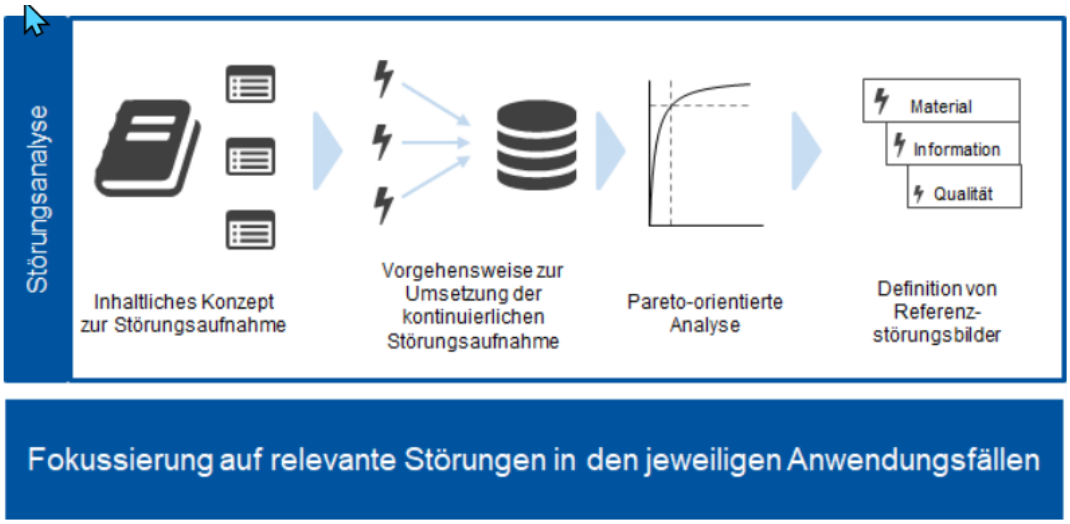

Abbildung 9: Störungsanalyse

Gegenstand der Analyse waren Stör- und Fehlermeldungen, Unterauftragnehmer-Reklamationen und Änderungsmitteilungen. Die inhaltliche Bearbeitung bediente zwei Schwerpunkte.

Zuerst wurde, aufbauend auf im Anwenderunternehmen bestehenden Daten, eine Störungsanalyse durchgeführt. Im Rahmen derer wurden >500 Datensätze aufbereitet, klassifiziert und visualisiert. Die Erkenntnisse wurden im weiteren Projektverlauf diskutiert und zur Ableitung der Referenz-Störbilder verwendet.

Als zweiter Schwerpunkt wurde ein Konzept zur datenbasierten Störungsanalyse im Sinne eines potentiellen Leitbilds entwickelt. Inhalt dieses Leitbilds ist ein Reifegradmodell des Störungsmanagements bezogen auf die schiffbauliche Fertigung. Das Reifegradmodell wurde in drei Teilschritte unterteilt.

Die durchgeführte Störungsanalyse ergab, dass Material- und Informationsprobleme die häufigsten Störfälle darstellen. Zusammen genommen machen diese Störungscluster ca. 75% aller Störfälle aus.

Die daraus abgeleiteten Referenz-Störbilder sind die sogenannten Fehl- und Verlustteile. Fehlteile sind in den Bauunterlagen der Produktion vorgesehene Komponenten, die jedoch nicht an die Fertigung ausgeliefert wurden. Typischer Weise sind das nicht verschachtelte, vergessene Brennteile oder Profile, oder einzubauende Ausrüstungskomponenten wie zum Beispiel Mannlochringe, Handgriffe, Buchsen, Packrahmen und so weiter, wo es keinen Wareneingang oder Lagerentnahme gibt.

Ein Verlustteil hingegen liegt vor, wenn alle Bauunterlagen und Material zum Termin vorhanden waren, das entsprechende Bauteil jedoch nicht am Zielort auffindbar ist. Hierbei kann es sich um Rohmaterial oder ein Konstruktionselement handeln. Auch ist es möglich, das die Informationsbasis in Ordnung und / oder das Bauteil physisch vorhanden ist, es jedoch zum benötigten Zeitpunkt nicht am richtigen Ort vorliegt.

In der Störungsanalyse wurden im Anschluss auf Basis von Änderungsmitteilungen, Erfahrungsberichten und Protokollen aus dem schiffbaulichen Shop-Floor-Management Störungen analysiert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen und Häufigkeit ausgewertet. Die Auswertung in Abbildung 10 zeigt, dass 80 % aller Störungen durch nur fünf gemeinsame Ursachen erklärt werden können. Aus der Störgrößenanalyse wurde abgeleitet, welche Informationen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt gewonnen werden müssen. Darauf aufbauend wurde definiert, wie mit diesen Informationen eine proaktive Produktionssteuerung rechtzeitig eingreifen kann, um die Auswirkung der Störung zu minimieren oder zu verhindern.

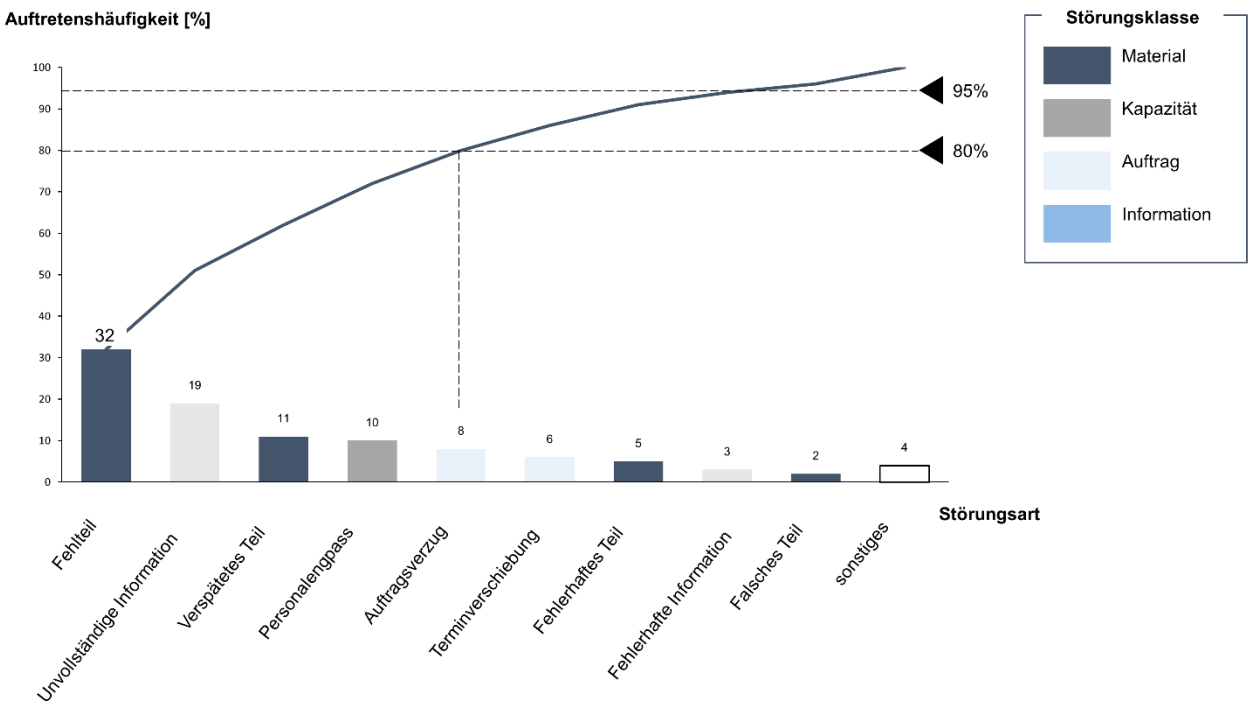

Abbildung 10: Identifizierte Ursachen von Störungen und deren Häufigkeit

Beide Referenzstörbilder bedingen eine Neufertigung des relevanten Bauteils. Die typische Reaktionszeit auf die Referenzstörbilder wurde exemplarisch am Beispiel des Verlustteils untersucht, um zielgerichtete Maßnahmen ableiten zu können. Dazu wurde die gesamte Reaktionszeit in die Teilanteile der Detektions-, Erfassungs-, Übermittlungs-, Berechnungs- und Implementierungszeit unterteilt. Ergebnis der Untersuchung ist, dass der Hauptteil der Reaktionszeit auf die Detektionszeit, also die Zeit zur Erkennung der Störung, entfällt. Diese Erkenntnis unterstützt den von dem Anwenderunternehmen bereits formulierten Bedarf nach einer Implementierung einer Track-&-Trace-Technologie für die schiffbauliche Fertigung.

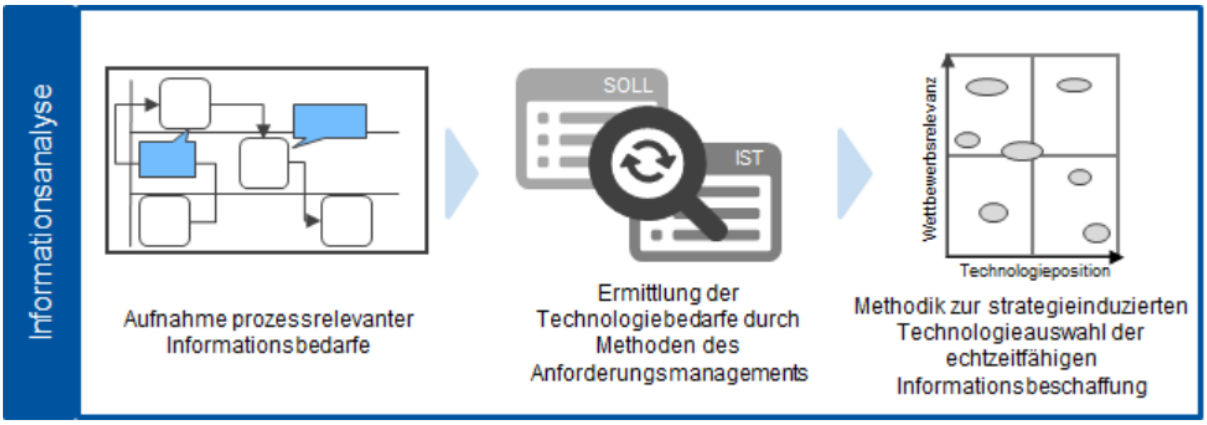

Abbildung 11: Informationsanalyse

Arbeitsabläufe werden durch äußere Faktoren beeinflusst und führen häufig zu Störungen. Um proaktiv Störungen begegnen zu können, müssen diese identifiziert, klassifiziert und hinsichtlich ihrer Ursachen und Wirkung bewertet werden. Hierzu wurden folgende Arbeitspunkte umgesetzt:

- Identifizierung aller möglichen Einfluss- und Störquellen

- Klassifizierung von Einfluss- und Störgrößen (z.B. intern/extern, geringer oder großer Einfluss, unvermeidlich oder vorhersehbar, etc.)
- Datenanalyse (Daten aus den Arbeitspaketen AP 1.1 und AP 1.2), um Zusammenhänge / Korrelationen bei Einfluss- und Störgrößen zu Produktions- und Planungsdaten zu erkennen
- Identifizierung der Abhängigkeiten von Unterlieferanten
- Entwicklung von Strategien zur frühzeitigen Erkennung und vorausschauenden Vermeidung oder umgehender Beseitigung von Störungen
- Entwicklung von Strategien zur frühzeitigen Erkennung und Aussteuerungen von Schwankungen
- Störgrößen wurden auf Basis von Änderungsmitteilungen, Erfahrungsberichten und Protokollen aus dem schiffbaulichen Shop Floor Management analysiert und nachfolgend systematisiert.

3.1.4. AP 1.4 Bedarf und Anforderungen an erforderliche Hardware

Ein wichtiges Projektziel war es, die Datenerfassung, -anzeige und -übergabe zukünftig durchgängig digital zu organisieren. Dafür war neue Hard- und Software erforderlich, die in den Arbeitsbereichen des Demonstrators eingesetzt wird. Die definierten Soll-Prozesse beinhalten die Schnittstellen der einzelnen Arbeitsschritte. Darauf basierend werden die funktionalen Anforderungen an die Hard- und Software bestimmt. Die dafür erforderlichen Arbeitsschritte umfassten die folgenden Aktivitäten:

- Umfang der benötigten Hardware festlegen, an welcher Stelle wird zusätzliche Hardware benötigt
- Auswahl geeigneter Hardware zur Visualisierung von Daten und digitalen Informationen
- Feststellen von erforderlichen Maßnahmen, um relevante Maschinen und Anlagen online zu bringen.
- Funktionalitäten und Anforderungen an vorhandene oder zusätzlich benötigte Software beschreiben
- Funktionalitäten und Anforderungen an die Infrastruktur (LAN, WLAN, Ortungssysteme)
- Beschreibung des Funktionsumfanges der Hardware, z.B. Scanner zur Identifikation eines Bauteils

In Abbildung 12 sind die verschiedenen Arbeitsstationen mit den jeweiligen Hardwarekomponenten schematisch dargestellt. Hieraus konnte ein Mengengerüst für die Beschaffung der erforderlichen Komponenten erstellt werden.

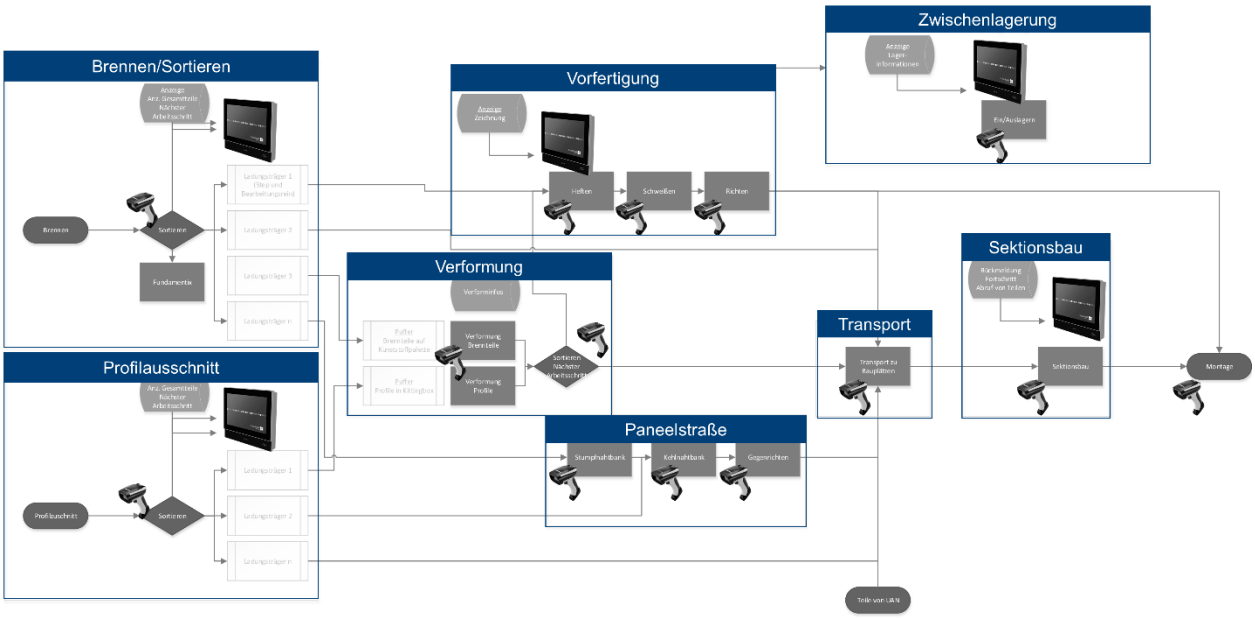

Abbildung 12: Schematische Darstellung der erforderlichen Hardware an den verschiedenen Arbeitsstationen

3.2. Arbeitspaket 2 Datenmodell

3.2.1. AP 2.1 Spezifikation für das Datenmodell

Festlegung der zu digitalisierenden Information und Spezifikation für das Datenmodell

Durch die neuen und verfügbar gemachten, digitalen Informationen zum Produktionsablauf und Bauteilestatus direkt aus dem Produktionsprozess heraus konnte die Schaffung einer der essentiellen Grundlagen für die weitere Entwicklung erfolgreich abgeschlossen werden.

Das Datenmodell muss alle relevanten Daten der in AP 1.1 definierten Soll-Prozesse enthalten. Diese Daten müssen digital vorliegen, stammen dabei aber aus unterschiedlichsten Quellen. In AP 2.1 werden die Daten für das Datenmodell und deren Formate festgelegt. Bestandteil des Arbeitspaketes waren folgende Tätigkeiten:

- Auswahl von Daten, Datensätzen und Parameter, u.a.:
  - Zeichnungen
  - Baumethodik
  - Fertigungsverfahren
  - Termine
  - Personalressourcen
  - Maschinenressourcen
  - Material
- Festlegung der Herkunft der Daten
- Festlegung der Verantwortlichkeiten für Erstellung und die Konsistenz der Daten
- Schnittstellen zu externen Lieferanten
- Identifikation der manuell zusammengestellten Daten innerhalb der Prozesskette

Mess- und Steuergrößen: Für eine automatisierte und transparente Steuerung der Produktionsprozesse sind aussagekräftige und zuverlässige Kennziffern unerlässlich. Es wurde daher untersucht, welche Kennzahlen erforderlich, verfügbar bzw. gewonnen werden können.

Als Ergebnis wurden wichtige Erkenntnisse zum Thema Kennziffern in Planung und Steuerung gewonnen, welche im weiterem zur Überwachung und Steuerung des Fertigungsprozesses auf verschiedenen Hierarchie-Ebenen übertragen werden konnten.

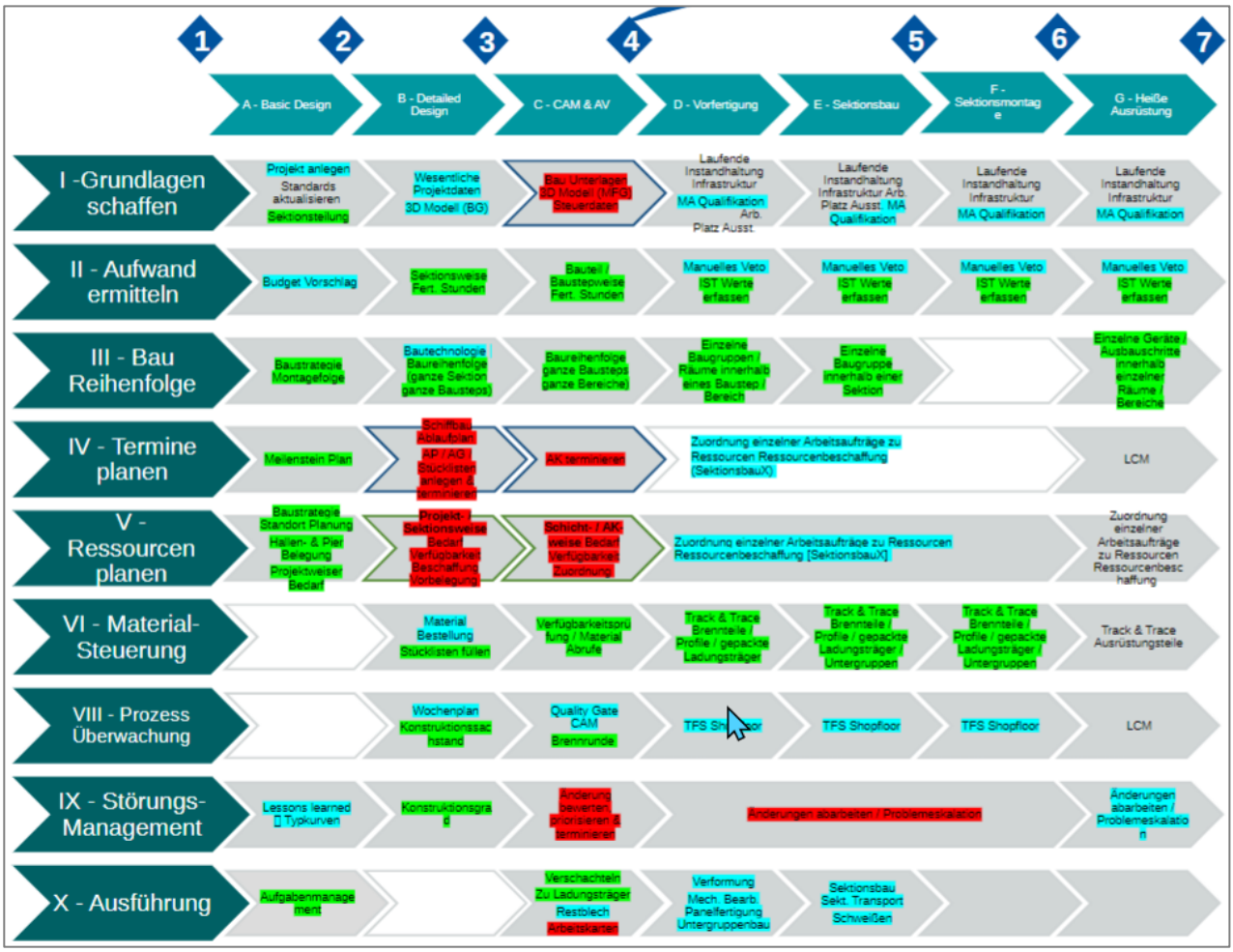

Abbildung 13: Globale Strukturierung des Datenmodells

Außerdem wurde ein erster Prototyp des Demonstrators auf Basis historischer Daten einer beispielhaften Sektion in Excel aufgesetzt. Ziel des Prototyps ist die Konzeptvalidierung des Demonstrators im Rahmen der frühzeitigen Erforschung des Verhaltens des Demonstrators unter gegebenen Planungsannahmen. Zunächst wurden die geplanten Arbeitsstunden der Arbeitspakete mittels festgelegter Berechnungsformeln auf die Fertigungsschritte der Einzelbauteile verteilt. Auf Basis der verteilten Arbeitsstunden und vorgegebener Ablaufbedingungen wurden die Fertigungsschritte innerhalb eines Bauschritts der Sektion, in der Terminologie des Anwenderunternehmens auch Baustep genannt, terminiert. Im nächsten Schritt wurde der zur Fertigung der Beispielsektion erforderliche Kapazitätsbedarf stundengenau berechnet. Ausblickend soll untersucht werden, welche erweiterten Ablaufbedingungen erforderlich sind und wie Störungsfälle berücksichtigt werden können, um die benötigten Daten des Demonstrators zu definieren. Schließlich dient der Prototyp als Veranschaulichung des Demonstrators auch zur Kommunikation des ProProS-Zielbilds bei Anwendern und Entwicklern.

3.2.2. AP 2.2 Strategien zu Digitalisierung und Echtzeitbefähigung

Der im Datenmodell angelegte digitale Datenbestand muss intelligent verknüpft werden, damit die relevanten Informationen dem jeweiligen Anwender angezeigt werden können. Potentielle Störungen müssen erkannt, priorisiert und gemeldet werden. Hierzu sind Optimierungsalgorithmen und Planungsmethoden in das Datenmodell zu integrieren. Folgende Aspekte müssen dabei berücksichtigt werden:

- Bestimmen von benötigten Optimierungsalgorithmen (Optimierung DLZ; Glätten von Kapazitätsschwankungen, Maschinenauslastung, Produktionskosten, Controlling Reports, Verschnitt, Datamining, Schwachstellen- / Fehleranalyse, etc.)
- Festlegen von Planungsgrundsätzen und –regeln
- Prüfung, wie die aktuell manuell erhobenen Daten digitalisiert und automatisiert erzeugten Daten zusammengeführt und verknüpft werden können
- Prüfung der vorhandenen Systeme und Datenbanken auf Kompatibilität mit dem unter L1.1 entwickelten Soll-Prozess
- Bestimmung der notwendigen Schnittstellen (intern/extern)
- Identifikation von Methoden und Algorithmen, mit denen Daten und Informationen erzeugt und/oder verarbeitet werden sollen
- geeignete digitale Abbildung der Kombination aus Soll-Fertigungsprozess, -Datenerzeugung & -Informationsfluss / Datenstrom
- Prüfung rechtlicher Randbedingungen und Einbindung von Betriebsräten
- Modulare Struktur, geeignet für Zusammenarbeit im Firmenverbund und zur Integration von Dienstleistern
- Absicherung des Knowhows, Vertraulichkeit und Geheimhaltung
- Spezifikation der Ziele (DLZ, Kosten, Qualität, Liefertreue, etc.) und der Prinzipien (Standardisierung, Pull-Prinzip, Null-Fehler-Prinzip, etc.) und Abgleich mit den Beteiligten
- Auswahl geeigneter Planungs-, Logistik- und Steuerungsverfahren, Differenzierung innerhalb der Fertigungsstationen und einzelner Tätigkeiten / Prozessschritte
- Auswahl geeigneter Kennziffern / Kennlinien, ggf. Ermittlung unter Einsatz von Datenanalyseverfahren

Echtzeit

Echtzeit – dieser Begriff erlaubt sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis viel Interpretationsspielraum. Zur Eingrenzung dieses Interpretationsspielraums wurde ein Ordnungsrahmen erstellt. Dieser Ordnungsrahmen dient zur projekteigenen Definition des Begriffs im vorliegendem Kontext und wird im Folgenden kurz erläutert. In der Literatur wird die Echtzeitfähigkeit eines Systems allgemein als eine ausreichend rechtzeitige Ergebnisausgabe unter Einhaltung einer Zeitbedingung beschrieben (Rechtzeitigkeitsbedingung). Um den Begriff der Echtzeit im Kontext der Störungsbehebung und Produktionsplanung/-steuerung in schiffbaulichen Produktionssystemen zu verwenden, wurde die allgemeine Definition angepasst. Nach adaptierter Definition ist zur Erreichung der Echtzeitfähigkeit von Produktionssystemen im Schiffbau sowohl die Rechtzeitigkeits- als auch eine Qualitätsbedingung zu erfüllen. Im Rahmen der Spezifizierung der Rechtzeitigkeitsbedingung wurde die Unterteilung der Reaktionszeit in ihre Bestandteile erarbeitet, die bereits in der Störungsanalyse genutzt wurde. Die Qualitätsbedingung ist bei Einhaltung einer Mindest-Planungsqualität erfüllt und lässt sich über die Ausprägung der logistischen Zielgrößen bewerten. Mithilfe dieser Bedingung lassen sich ebenfalls Aussagen über den Nutzen des produktionstechnischen Echtzeitsystems treffen.

3.2.3. AP 2.3 Spezifikation der erforderlichen Hardware

Nachdem die Funktionalitäten in AP1.4 bereits festgelegt wurden, wurden in AP 2.3 die einzelnen Komponenten im Detail spezifiziert und das exakte Mengengerüst aufgestellt.

Die wesentlichen Hardwarekomponenten wurden beschafft, um Bauteile zu beschriften, Bauteile automatisch an Arbeitsstationen einlesen zu können und eine IT-Infrastruktur, um Daten verarbeiten und verteilen zu können. Folgenden Hardwaretypen spezifiziert:

- Laserbeschrifter Brennmaschine
- Laserbeschrifter Profillinie
- Handbeschriftungsgerät
- Industrie PC + Monitor / PC Terminal
- Handscanner
- Netzwerkkomponenten Router und Switches

Technologiebedarfe / Technologieauswahl:

Hierzu wurde zunächst eine umfangreiche Technologierecherche zur automatischen und manuellen Aufbringung von maschinenlesbaren Codes durchgeführt. Ein Anwendungsbeispiel für die Technologieauswahl ist die Bauteilbeschriftung nach dem händischen Profilzuschnitt für Ausrüstungsbauteile wie beispielsweise Fundamente.

Die automatisierte Aufbringung wurde in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Herstellern evaluiert, um sicherzustellen, dass die Markierungen bei verschiedenen Materialien und Einsatzbedingungen einwandfrei aufgebracht werden konnten und lesbar waren.

3.3. Arbeitspaket 3 Umsetzung

Die synchrone Entwicklung der Demonstrator Software ist mit der Programmierung der in AP-2 erhobenen Userstories zu den Schwerpunkten Aufwandsermittlung, Ablaufplanung, Ressourcen-management, Fortschrittskontrolle und Störungsmanagement in Software des Demonstrators ist fort-gesetzt worden. Die Bearbeitung erfolgt weiterhin strukturiert mittels Scrum-Methodik. Im regelmäßigen Turnus fanden hierzu Besprechungen zum Sprint-Planning / Sprint-Review statt, wo der aktuelle Fortschritt bei der Programmierung der entsprechenden Softwarefunktionen festgestellt wurde und die nächsten Aufgaben der Programmierer vereinbart wurden.

Die anfänglichen Probleme der Algorithmen bei der Verarbeitung entsprechender Datenmengen wurden von den Entwicklern gelöst. Die Praxis Erfahrungen mit der für die Generierung digitaler Informationen eingesetzte Hardware wurden ausgewertet und für Fehlerbeseitigung und Optimierung der installierten Hardware verwendet. Ein wichtiger Baustein wurde mit der Entwicklung einer Funktion für den Import nativer Konstruktionsdaten aus dem Autorenwerkzeug geschaffen. Dieser wurde für modifizierte Datenformate angepasst und ist weiterhin für die weitere Software-Entwicklung verwendet worden.

Ein wichtiger Baustein wurde mit der Entwicklung einer Funktion für den Import nativer Konstruktionsdaten aus dem Autorenwerkzeug geschaffen. Dieser wurde für modifizierte Datenformate angepasst und soll künftig für die weitere Software-Entwicklung verwendet werden. Weitere Schnittstellen für einen Import von Steuerdaten sind in Bearbeitung. Die Daten werden in Listenform bereitgestellt und beinhalten manuell erzeugte, typische Störereignisse zum Validieren der Funktionsfähigkeit des Demonstrators.

3.3.1. AP 3.1 Systemintegration Hardware und Erprobung der Einzelsysteme

Voraussetzung für die Umsetzung und Erprobung einzelner Module des Datenmodells war und ist eine betriebsbereite Hardware und geschulte Anwender. Die unter AP 2.3 beschriebene Hardware wurde für die ausgewählten Arbeitsbereiche beschafft, installiert und in Betrieb genommen.

Im Zusammenspiel mit einem FLW-internen Digitalisierungsprojekt wurden die Installation der IT Infrastruktur und entsprechende Mitarbeiter Schulungen vorgenommen.

Im Rahmen von ProProS erfolgt die Entwicklung der Demonstrator Software dazu synchron und so gesteuert, dass die von den einzelnen Programm-Modulen erzeugten Informationen jeweils nur einmal erzeugt und zwischen den Programmen über Datenschnittstellen ausgetauscht werden sollen. Die Software Architektur dafür wurde modular strukturiert, so dass die nachfolgende Integration mit wenig Aufwand möglich ist.

Die installierten PCs an den Arbeitsstationen ermöglichen das Aufrufen von aktuellen Bauteil-informationen, wie z.B. Zeichnungen und Auftragsdaten. Die hinterlegte MES-Software wurde parallel in einem internen Vorhaben beim Anwenderunternehmen FLW entwickelt. Abbildung 14 zeigt beispielhaft eine Arbeitsstation, an der digitale Informationen abgerufen werden können.

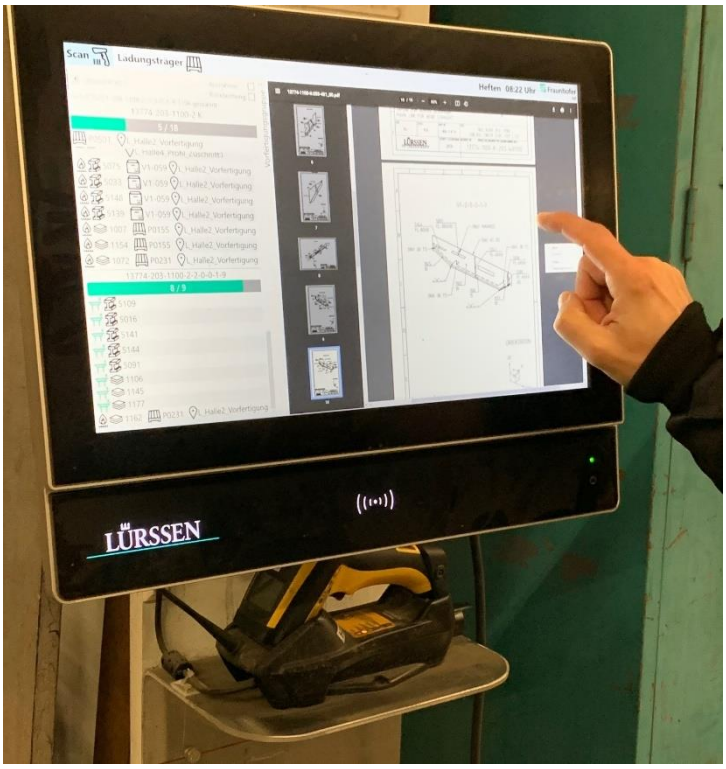

Abbildung 14: Arbeitsplatz-PC mit integriertem Touchdisplay

Zum digitalen Einlesen der Bauteilinformationen an einer Arbeitsstation wurden verschiedene Codetypen, Aufpräge- und Leseverfahren auf Ihre Eignung untersucht. Um ein möglichst flexibel agieren zu können, wurde eine Kombination eines Data-Matrix-Code und Klartext gewählt, die mittels eines Lasers aufgebracht wird und mit einem Handscanner eingelesen werden kann (Abbildung 15).

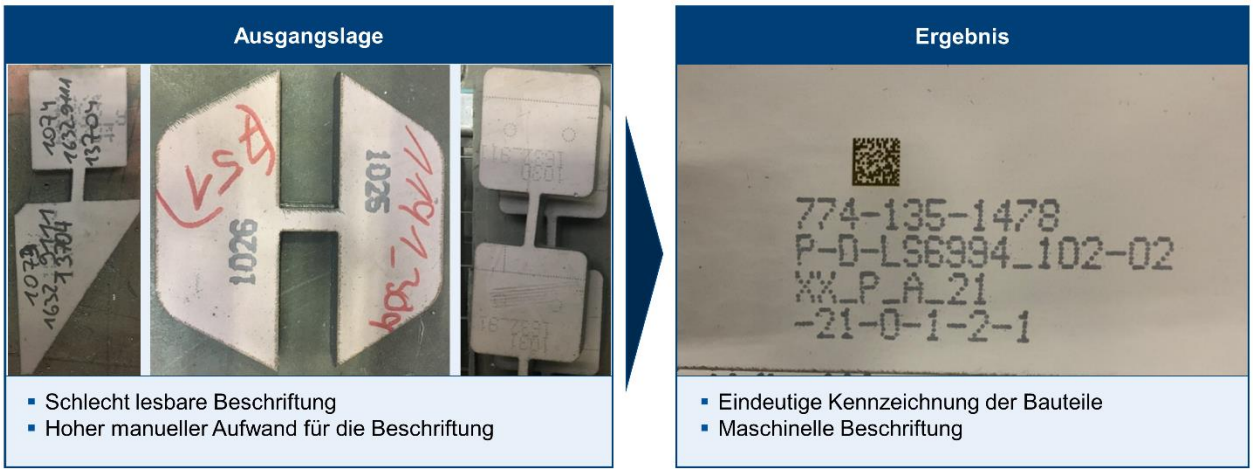

Abbildung 15: Verbesserung der Bauteilkennung durch scanbare Data-Matrix-Codes und gedruckte Bauteilbezeichnungen

Die ProProS bearbeiteten Schwerpunkte im Kontext „Planung“ umfassen die initiale Terminierung durch Rückwärtsplanung, Baufolgefindung, Bauzeitprognose und Alternativplanung bei intolerablen Abweichungen vom Soll. Für alle Teilfunktionen leistet die Demonstrator Software Ressourcen-Abgleiche (Arbeitskräfte, Material, Bauunterlagen, Maschinen / Anlagen, Bauplätze) und durch die Lösungsvorschläge. Anfängliche Probleme der Algorithmen bei der Verarbeitung entsprechender Datenmengen konnten gelöst werden. Durch die neuen und verfügbar gemachten, digitalen Informationen zum Produktionsablauf und Bauteilestatus direkt aus dem Produktionsprozess heraus konnte die Schaffung einer der essentiellen Grundlagen für die weitere Entwicklung erfolgreich abgeschlossen werden.

Aufgrund der limitierten Reichweite einzelner WLAN Repeater im Mesh soll weiterführend untersucht werden, ob sich - ergänzt durch 5G Mobilfunktechnik - ein stabileres & kräftigeres Signal, eine Verbesserung der Netzqualität sowie eine lückenlose Abdeckung erreichen, bzw. eine technisch sinnvolle und wirtschaftliche Alternative zum WLAN nutzen lässt. Zum Jahresende 2021 wurde damit begonnen, entsprechende Geräte und Infrastruktur für Tests zu beschaffen und an verschiedenen dafür geeigneten Positionen sowohl des Außengeländes als auch im Innenbereich zu installieren, mit speziellen Fokus auf abgeschotteten Räume, zum Beispiel im Schiffsinneren, bzw. den Außenbereichen. Nach Abschluss diverser Untersuchungen wurde der Einsatz von 5G Mobilfunktechnik jedoch verworfen.

Die Praxis Erfahrungen mit der für die Generierung digitaler Informationen eingesetzte Hardware wurden ausgewertet und für Fehlerbeseitigung und Optimierung der installierten Hardware verwendet.

3.3.2. AP 3.2 Integration und Funktionsprüfung der Software-Bausteine

Die proaktive Produktionssteuerung verbindet unterschiedlichste schiffbauliche Tätigkeiten, wie z.B. Ausbrennen, Verformen, Flammrichten oder Schweißen an verschiedenen Stellen der Prozesskette. Die einzelnen Arbeitsstationen wurden im Modell abgebildet, so dass diese auch einzeln umgesetzt und getestet werden konnten. Die Integration und Erprobung beinhaltete die folgenden Tätigkeiten:

- Installation der entwickelten Planungs- und Steuerungs-Software auf der vorhandenen und beschafften Hardware
- Bereitstellung von Planungs- und Steuerungsinformationen in Testdatenbanken
- Inbetriebnahme, Testen und Erprobung des Demonstrators
  - Rückmeldung in die vorhandenen Systeme

- Schnittstellen (z.B. Brennmaschine <-> TeamCenter)
- Prognosefähigkeit (Bauablauf, Ressourcen und Kapazitäten, Budgets)
- Selbstregulierende Aussteuerung von Störungen und Schwankungen
- Transparenz
- Vollständigkeit der Abarbeitung der konstruierten Bauteile
- Lokalisierung der Bauteile

- Schulung der Nutzer

Die Beteiligten einigten sich auf die Scrum – Planungsmethode für die Entwicklungs- und Testphase der Demonstrator Software in den AP 3 und 4, siehe Abbildung 16:

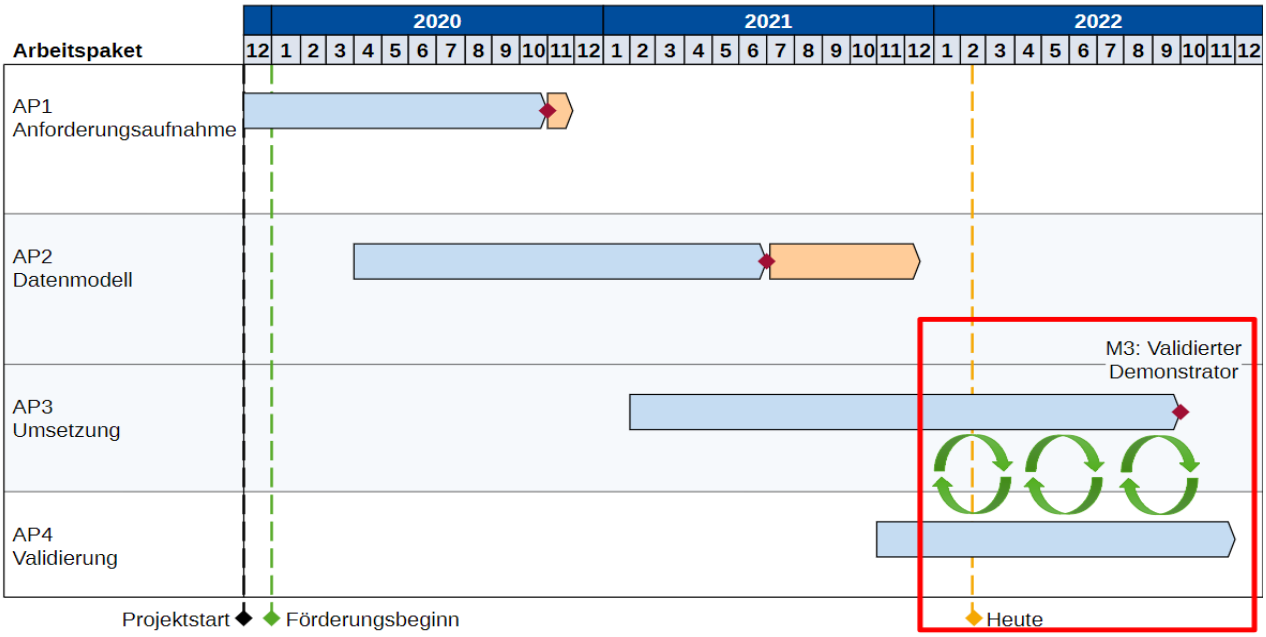

Abbildung 16: Balkenplan mit Darstellung der Iterationsschleifen zwischen AP3 und AP4

Allgemeine Grundsätze zur Entwicklung des Demonstrators im Laufe der bisherigen Zusammenarbeit der Konsortialpartner und in Begleitung der ersten Sprints nach Beginn der Entwicklung des Demonstrators wurden für einzelne Themen eine Vielzahl von zum Teil recht unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten betrachtet und diskutiert. Nachfolgend angeführten Grundsätze fassen einen Extrakt der wichtigsten Konsenspunkte für die Entwicklung des Softwaredemonstrators zusammen.

- Vereinheitlichung der Planungs- / AV- Entitäten (prozessual-organisatorisch, Programmierung)
- Stellen- / Anforderungsprofile A konkrete (vereinheitlichte) Aufgabenbeschreibungen werden eingeführt zur Verbesserung der Kapazitätsprognose & Planung der Mitarbeiterressourcen
- Schaffung von Funktionalitäten zur einfachen Level 1 – Administration der Softwaremodule durch das mittlere und Topmanagement, im wesentlichen Zuweisung & Entzug von Rechten / Verwaltung der eigenen Ressourcen
- Umstellung der Schachtelungsmethodik auf eine am Bedarf orientierte Zuweisung von Bauteilen zu einzelnen Brennjobs (prozessual-organisatorisch, Programmierung)
- Die Grundstruktur der Programmmodule orientiert sich anhand einzelner Fertigungsstationen, welche im Produktionsprozess durchlaufen werden, Erweiterung / Ergänzung nach Prinzip „Plug-and-Play“
- Neu zu schaffen sind Möglichkeiten zur Reservierung von Material für einzelne Arbeitskarten

- (automatisiertes) systematisches Erzeugen diskreter digitaler Informationen •Implementation von Performance- & Kalkulations- Kennwerten
- Maschine-Mensch-Interaktion mittels aufgabenspezifischer Bedienercockpits entsprechend dem Prinzip: automatisches Reagieren bei Soll-Ist-Abweichungen mit systemisch erzeugten Handlungsoptionen, Entscheidungen durch die Bediener
- Erzeugen von Anforderungen an Ergonomie und Haptik durch Nutzerbefragung erhoben
- Baldmöglichste Einbindung der Nutzer in das Prototyping mit agiler Fortschrittsplanung
- Bau- und Planungsinformationen sollen perspektivisch entsprechend der Prinzipien des „Model-based Engineering“ im CAD / PLM System erzeugt und gespeichert werden
- Erzeugen von Soll-Planungsdaten aus dem IST-Datenbestand des Systems über Algorithmen als Entscheidungsvorlage

3.3.3. AP 3.3 Gestaltung und Erprobung der Benutzeroberflächen

Im Rahmen der Entwicklungsbegleitung des Softwaredemonstrators wurden in inhaltlicher Absprachemit den Konsortialpartnern die Anforderungen an die Benutzeroberfläche spezifiziert. Dazu wurden regelmäßige Abstimmungstermine mit den Stakeholdern bzw. Zielgruppen des Anwendungspartners im Sinne des agilen Entwicklungsvorgehens durchgeführt. Der Prototyp des Demonstrators wurde hierzu kontinuierlich weiterentwickelt und zur Konzeptvalidierung genutzt. Weiterhin wurden die vorgesehenen Funktionalitäten des Demonstrators mit den Konsortialpartnern gemeinsam strukturiert und in einer Prozesslandkarteverortet um den Entwicklungsprozess zu unterstützen.

Aus Anwendersicht waren insbesondere die intuitive Bedienbarkeit ein wesentliches Kriterium bei der Gestaltung der Oberfläche und der hinter den Bedienelementen liegenden Funktionen. Sobald relevante Funktionen nicht intuitiv auffindbar sind, führt dies zu Frustration beim Bediener und vermindert die Akzeptanz beim Anwender. Abbildung 17 zeigt einen Screenshot der Einstiegsseite der Demonstrator-Software.

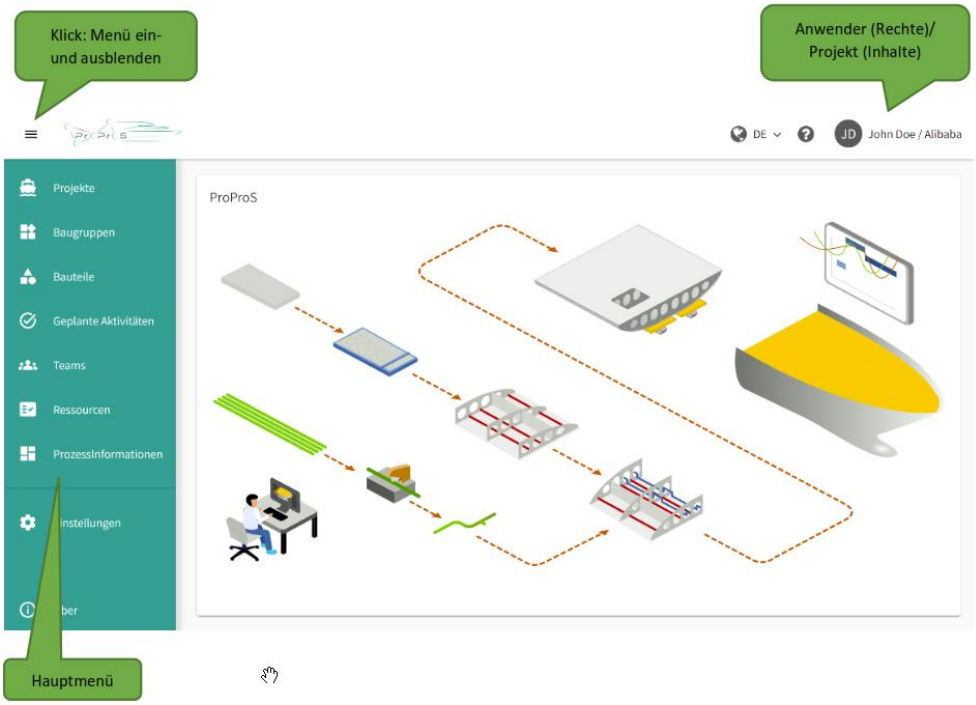

Abbildung 17: Screenshot der Benutzeroberfläche des Demonstrators

3.4. Arbeitspaket 4 Verifikation

3.4.1. AP 4.1 Anwendung des Demonstrators

Die softwaretechnische Umsetzung des Demonstrators wurde durch PROSTEP durchgeführt. Dazu wurde die Anwendergruppen der FLW und die wissenschaftlichen Mitarbeiter des WZL eingebunden, um die Umsetzung der zuvor gemeinsam definierten Funktionalitäten zu bewerten und die weitere Implementierung über die Sprint Reviews und Sprint Plannings zu lenken. Die Tests wurden jeweils nach Beendigung eines Sprints durchgeführt, so dass die Erkenntnisse der Tests zeitnah vorlagen und Anpassungen in den folgenden Sprints direkt übernommen werden konnten.

Der Fokus des WZL lag dabei auf der Verifizierung der Algorithmen. Die FLW hat im Rahmen der Tests insbesondere die Benutzerfreundlichkeit und die verfügbaren Funktionen untersucht.

Für die Erprobung des Demonstrators wurden echte Messdaten aus der Fertigung eingesetzt. Da im Rahmen des Vorhabens nicht vorgesehen war eine automatisierte Schnittstelle zur Fertigung zu etablieren, mussten die Daten jeweils manuell aufbereitet und über eine Excel-Tabelle importiert werden.

Die Datenbasis aus der Fertigung war ausreichend groß, so dass verschiedene Szenarien mit den definierten Ressourcen simuliert und miteinander verglichen werden konnten. Abgesehen vom Import der Daten konnte die Echtzeitfähigkeit der Datenverarbeitung der genutzten Informationen im Demonstrator nachgewiesen werden. Beim Vergleich verschiedener Szenarien sollten verschiedene Kennzahlen berechnet werden, die für die Bewertung des jeweiligen Szenarios herangezogen werden. Folgende Kennzahlen waren vorgesehen: Durchlaufzeit, Auslastung, Bestände, Termintreue, Kosten und Robustheit. Aktuell kann nur die Termintreue als Kennzahl ausgegeben werden, so dass der Demonstrator noch nicht in der Lage ist zwei Szenarien anhand mehrerer Kriterien zu bewerten.

Zum Abschluss konnte festgestellt werden, dass die Nutzerfreundlichkeit, Übersichtlichkeit und Umsetzung der erforderlichen Funktionalitäten erfüllt werden.

3.4.2. AP 4.2 Fehlerbeseitigung und Optimierung der Informationsflüsse

Während der Erprobung des Demonstrators in AP 4.1 wurden regelmäßig kleinere und größere Fehler erkennbar. Diese Fehler und weitere Anregungen zur Optimierung der Software wurden in regelmäßigen Meetings besprochen und zeitnah behoben. Hierdurch konnte ein guter Entwicklungsfortschritt der Software sichergestellt werden.

Meilensteine

M1: Anforderungsaufnahme abgeschlossen

M2: Datenbasis & Datenplattform: Datenmodell für die proaktive Produktionssteuerung wurde definiert

M3: Validierter Demonstrator: Verifizierung der gesamten Prozesskette

4. Notwendig und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Komplexität der Produktionssteuerung einer schiffbaulichen Unikatfertigung ist außerordentlich hoch und wird von einer kaum überschaubaren Anzahl von Parametern beeinflusst. Die Entwicklung einer auf Echtzeitdaten basierenden Produktionssteuerung für eine schiffbauliche Fertigung und schiffbauliche Ausrüstung musste daher von allen Prozessbeteiligten begleitet werden und von zusätzlichen Experten, mit erforderlichen Know-How umgesetzt werden.

Im Rahmen des Vorhabens wurden neue Algorithmen zur Planung und Steuerung einer komplexen schiffbaulichen Fertigung entwickelt. Hierzu mussten alle relevanten Daten des Fertigungsprozesses

zentral und in Echtzeit verfügbar gemacht werden. Darauf aufbauend wurden die optimalen Abläufe geplant und optimale Szenarien in Echtzeit vorgeschlagen. Die Grundidee des Vorhabens beinhaltete eine Reihe neuer Konzepte, deren Machbarkeit noch nicht nachgewiesen wurde. Hiermit war das Risiko verbunden, dass eine Umsetzung nicht erfolgreich oder nur teilweise erfolgreich sein würde. Das Vorhaben hat erhebliche Ressourcen gebunden, welche ohne Förderung nicht hätten bereitgestellt werden können.

5. Voraussichtlicher Nutzen

Im Rahmen des Vorhabens konnte nachgewiesen werden, dass Störungen im Produktionsprozess proaktiv erkannt werden können. Damit ist es möglich frühzeitig Maßnahmen zu ergreifen, um den Auswirkungen dieser Störungen entgegenzuwirken. Das Erkennen von Störungen im Produktionsablauf setzt voraus, dass der aktuelle Status der Bauteile in Echtzeit verfügbar ist und damit Abweichungen vom Plan erkannt werden können. Die Digitalisierung der schiffbaulichen Fertigungsprozesse wurde im Rahmen von ProProS beispielhaft umgesetzt, die eine durchgängige Erfassung der Bauteile ermöglich und eine sehr gute einheitliche und transparente Datenbasis schafft. Ein Ergebnis ist z.B. die Eliminierung nahezu aller Verlustteile.

Ein weiterer voraussichtlicher Nutzen wird entstehen, wenn die entwickelten Planungsalgorithmen in eine produktive Softwareumgebung integriert werden, um dann auf Basis der aktuellen Fertigungsdaten Störquellen frühzeitig zu identifizieren und automatisch alternative Fertigungsstrategien zu entwickeln, um dadurch Kosten zu senken und die Termintreue zu erhöhen.

6. Bekannt gewordenen Fortschritts bei anderen Stellen

Ende 2020 kam die Software „floorganize“ auf dem Markt. Diese Software wurde ebenfalls im maritimen Umfeld entwickelt und weist einige Überschneidungen mit den Inhalten des Vorhabens ProProS auf. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale sind jedoch der höhere Automatisierungsgrad, die Optimierungsalgorithmen und die einfache Anpassungsmöglichkeit des ProProS-Demonstrators.

7. Erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen

Das Vorhaben wurde im Tagungsband der Statustagung Maritime Technologien gemeinsam mit den Partnern veröffentlicht. Seitens der Lürssen Werft sind keine weiteren Veröffentlichungen geplant.