

# **Schlussbericht**

zum Forschungsprojekt

## **Virtuelle Modulfabrik für Schiffe**

### **“VIMOS“**

im Rahmen des InnoRegio-Projektes

***„Aufbau einer Maritimen Allianz in der Ostseeregion“***

#### Teilprojekt 2.3

„Modellierung und Optimierung der  
Fertigungs- und Montageprozesse in der Virtuellen Modulfabrik“

Zuwendungsempfänger:	SAB Barth GmbH
Förderkennzeichen:	03i0702F
Laufzeit des Vorhabens:	01.03.2003 – 28.02.2005
Erarbeitet von:	Dipl.-Ing. Michael Pauels Dipl.-Ing. Mark Apitz

Barth, August 2005

## I Kurze Darstellung

### 1 Aufgabenstellung

Mit dem Vorhaben wurde als Gesamtzielstellung eine drastische Kostensenkung und Zeitverkürzung in der Schiffsausrüstung angestrebt.

Primäre Zielsetzung dieses Teilprojektes im Verbundprojekt waren die Modellierung und Optimierung der Fertigungs- und Montageprozesse in der virtuellen Modulfabrik.

Mit dem Teilprojekt erfolgte die Modellierung, die Entwicklung und Optimierung, einer durchgängigen Fertigungsstrategie und -methodik unter Berücksichtigung der Schnittstellen zu den beteiligten Kooperationspartnern im Projekt VIMOS, insbesondere unter Beachtung des Daten- und Dokumentenmanagement bei verteilter Projektierung, Modellierung und Fertigung sowie die Entwicklung, Festlegung der Montagetechnologie und Optimierung der Montagetechnologie unter Werkstattbedingungen und am Montageort, unter Berücksichtigung von Personaleinsatz, zeitlicher Abfolge der Montage sowie der Schnittstellen zu den beteiligten Kooperationspartnern.

Basierend auf der Aufgabenstellung wurde das Teilprojekt in 6 Einzelaufgaben mit jeweils separat zu bearbeitenden Schwerpunktaufgaben unterteilt:

- 1 *Modellierung einer, an den Bedürfnissen des Verbundvorhabens orientierenden, Fertigungsstrategie und -methodik unter Beachtung der Schnittstellen zu kooperierenden Projektpartnern*
  - Analyse und Abbildung der Prozesse in den Bereichen Projektierung, Konstruktion, Fertigung und Montage der beteiligten Projektpartner
  - Schnittstellendefinition und Schnittstellenfestlegung in Bezug zu den Aufgaben bzw. Ergebnissen der Kooperationspartner
  - Darstellung der vorhandenen Grundsätze und Entscheidungskriterien bei der Zusammenarbeit unterschiedlicher Partner und deren zeitlicher Einordnung
- 2 *Optimierung der Fertigungsmethodik auf der Basis der in iterativen Prozessen gewonnenen Erkenntnissen*

- Analyse und Abbildung der Ergebnisse der entwickelten Fertigungsstrategie unter Berücksichtigung der vorhandenen bzw. notwendigen Planungs- und Produktionswerkzeugen sowie deren Verfügbarkeit und Kapazität
  - Analyse der Anforderungen an die fertigungsgerechte Projektierung und Konstruktion sowie Anpassung der Schnittstellen zum Prozessdatenmanagement und der Fertigungssteuerung
- 3 *Weiterführung der Entwicklungsansätze aus der Methodik zur Bewertung der Fertigungs- und montagerechtheit in die Produktion unter Nutzung der erreichten positiven Effekte und ihrer konsequenten Umsetzung*
- Definition arbeitswissenschaftlicher Anforderungen an die Fertigung von Großmodulen sowie Funktional- und Regionalmodulen und abgeleitet daraus eine Bewertung der Montagebedingungen in unterschiedlichen Fertigungsstufen
  - Entwicklung der notwendigen, innerhalb des Verbundprojektes abgestimmten, Prozessen in den Phasen der Entwicklung, Projektierung und Fertigung und die Definition der Abhängigkeiten untereinander
- 4 *Entwicklung und Modellierung einer Montagetechnologie für Funktions- und Raummodule bzw. Sektionsmodule auf Basis der Entwicklungen aus den vorgelegten Arbeitsinhalten bzw. Optimierung vorhandener Montagetechnologien an die Bedürfnisse und Erfordernisse einer virtuellen Modulfabrik bzw. verteilter Fertigung und Montage*
- Analyse und Bewertung der vorhandenen Montagetechnologien beim Finalproduzenten und externem Zulieferer unter Berücksichtigung einer verteilten Fertigung und Montage
  - Entwicklung neuer Montagetechnologien hinsichtlich der optimierten Fertigungsmethodiken auf Basis der Einsatzmöglichkeiten und Rahmenbedingung des Finalproduzenten

- Analyse und Optimierung der entwickelten Montagetechnologien unter Berücksichtigung der Schnittstellen zum Verbundvorhaben unter Einbeziehung aller Akteure

#### 5 *Optimierung der Montageprozesse an den Bedürfnissen der Baumethodiken der Finalproduzenten*

- Entwicklung von Montagekonzepten unter Beachtung der finalen Baumethodik und der Anarbeitung von Großmodulen sowie Regional- und Funktionalmodulen einschließlich Ermittlung zugehöriger logistischer Kapazitäten und Möglichkeiten
- Entwicklung von Montagefolgeregeln und Entwicklung von Lösungen zur variablen Schnittstellengestaltung, z.B. Verbindungssysteme, Durchführungen, etc.
- Erarbeitung der Beziehungen zwischen der Baumethodik der Großmodule sowie Regional- und Funktionalmodulen und der Baumethodik des Finalproduktes

#### 6 *Erprobung der Gesamtmethode*

- Erprobung der Gesamtmethodik für alle Prozesse und entwickelten Lösungen und Lösungsansätze unter Einbeziehung aller am Verbundforschungsvorhaben beteiligten Partner unter Berücksichtigung der Schnittstellen zum Finalproduzenten und im Prozessdatenmanagement
- Aufwandsvergleiche und Aufwandskalkulationen zur Ermittlung validierter Lösungen für die Einzelstufen des Gesamtprojektes
- Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs zur Umsetzung im Unternehmen, Entwicklung von Handlungsanleitungen, und Erarbeitung der Inhalte für eine Umsetzung der entwickelten Fertigungs- und Montagetechnologie für verteilte Entwicklung, Projektierung und Fertigung

## 2 Voraussetzungen des Vorhabens

Das Vorhaben war ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstütztes Projekt, das über die Forschungsinitiative InnoRegio „Maritime Allianz Ostseeregion“ eingereicht wurde. Die Voraussetzungen für dieses Forschungsvorhaben waren sehr gut. Die Akteure und Projektpartner wurden im Projekt 2 aufgenommen und gebündelt. Die beteiligten Projektpartner sind alle als kompetente Unternehmen aus dem Kreis der Offshore- und Schiffbauzulieferindustrie bekannt und bei den Finalproduzenten eingeführt und qualifiziert. Der hohe Anspruch der inhaltlichen und sachlichen Aufgabenstellung und der Relevanz des Projektes wurde durch einen herausragenden Finalproduzenten gestützt.

Die zunehmende Globalisierung und der damit zusammenhängende verstärkte Wettbewerb stellen an die Unternehmen neben dem verschärften Preis- und Zeitwettbewerb durch veränderte Kundenwünsche und die Übergänge zu regional unterschiedlichen Märkten heterogene Anforderungen, die von herkömmlichen Unternehmensgebilden nur schwer erfüllbar sind. Große und international tätige Firmen mögen noch gewisse Chancen haben, diesen Anforderungen zu genügen. Mittlere und kleine Firmen sind hingegen von dieser Situation überfordert. Für die Wertschöpfung, die zur Kundenleistung führt, bedeutet dies das Zurückgreifen auf Wertschöpfungspartner durch den Aufbau von strategischen Kooperationen.

Erfolgreiche Unternehmen werden sich durch situatives, vorteilwahrendes und strategisches Handeln gegenüber ihren Mitbewerbern abgrenzen müssen. Nicht mehr die finanzielle Macht eines Betriebes wird den Markt beherrschen, sondern zeitlich begrenzte Kooperations- oder Leistungsverbünde, die in den schnelllebigen Märkten ebenso schnell entstehen, wie sie auch wieder zerfallen können, ohne dass für einen einzelnen Wertschöpfungsprozess langfristige Investitionen getätigt werden müssen. Diese Unternehmen sind nicht mehr materielle Einheiten, sondern virtuelle Einheiten. Sie bilden gegenüber dem Kunden eine Unternehmenskooperation, die ihm den Eindruck vermittelt, die Leistung aus einer Hand, d. h. von einem Unternehmen, zu beziehen. Ziele der virtuellen Organisation sind die Überwindung räumlicher und zeitlicher Begrenzungen sowie des Widerspruchs von Zentralisierung und Dezentralisie-

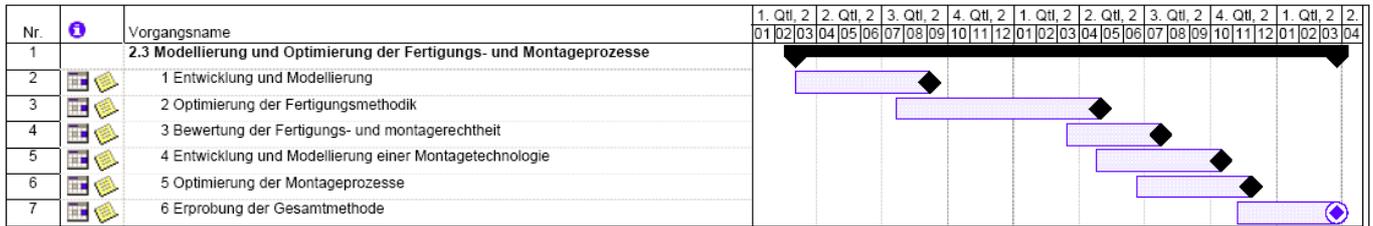
rung und damit die Erschließung der Vorteile verteilten Operierens, dezentral verteilten Wissens und lokaler Präsenz.

Virtuelle Organisationen lassen sich als fluide, temporär begrenzte Netzwerke rechtlich selbständiger Unternehmen, Institutionen und/oder Einzelpersonen auffassen, die sich vorrangig mit ihren Kernkompetenzen an einer Leistungserstellung gegenüber einem Dritten beteiligen. Da die Identität einer Organisation durch ihre Grenzen bestimmt wird, werden die Identitäten bei flexibler Grenzziehung unschärfer. Gleichzeitig wird der Aktionsradius erheblich erweitert und die Unvorhersagbarkeit des Verhaltens von Organisationen erhöht.

Der physische Standort einer unternehmerischen Wertschöpfung verliert immer mehr an Bedeutung, was zu erheblichen Zeiteinsparungspotentialen durch starke Verkürzung der Entwicklungszeiten führt. Virtuelle Netze erfordern eine hohe Flexibilität im Rahmen von integrierten Datenverarbeitungssystemen, die Hilfsmittel wie elektronische Produktkataloge, kooperative Informationssysteme, elektronische Organisationshandbücher, Groupware, Führungsinformationssysteme und computergestützte Organisationstools zur Verfügung stellen. Insbesondere für virtuelle Unternehmen ist das Konzept der Multiagenten-Systeme interessant, die nicht auf verteilte, sondern auf übergreifende Problemlösungen durch Nutzung bestehender Systeme setzen.

### **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Die bei der Beantragung dieses Vorhabens zugrunde gelegten Zeiten der einzelnen Arbeitspakete für die Durchführung des Vorhabens wurden während der Laufzeit konkretisiert und angepasst. Dieses war insbesondere notwendig, weil eine separate Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete ohne zusätzliche qualifizierte Zuarbeiten der beteiligten Projektpartner nicht zu realisieren war. Deshalb wurde innerhalb des Projektes wie in den Zwischenberichten beschrieben die Projektplanung den tatsächlichen Abläufen des Forschungsvorhabens angepasst. Die nachfolgende Abbildung wurde nach den tatsächlichen Projektverläufen erarbeitet.



Die Arbeitspakete, deren Aufgaben und Ergebnisse sind im Folgenden kurz dargestellt:

AP	Aufgaben	Ergebnisse
1	Modellierung einer, an den Bedürfnissen des Verbundvorhabens orientierenden, Fertigungsstrategie und -methodik unter Beachtung der Schnittstellen zu kooperierenden Projektpartnern	
1.1	- Analyse und Abbildung der Prozesse in den Bereichen Projektierung, Konstruktion, Fertigung und Montage der beteiligten Projektpartner	- Strukturen- und Prozessabbildungen der einzelnen Bereiche, Bewertung hinsichtlich einheitlicher Umsetzung auf die Gesamtaufgabe des Projektes
1.2	- Schnittstellendefinition und Schnittstellenfestlegung in Bezug zu den Aufgaben bzw. Ergebnissen der Kooperationspartner	- Analyse der Schnittstellen und deren Klassifizierung bei den Kooperationspartnern basierend auf den zu übergebenden Daten und Informationen, Modellierung der Schnittstellen und Abbildung
1.3	- Darstellung der vorhandenen Grundsätze und Entscheidungskriterien bei der Zusammenarbeit unterschiedlicher Partner und deren zeitlicher Einordnung	- Erarbeitung eines Lastenheftes mit der Definition der Entscheidungskriterien und grobe Konzeption der zeitlichen Parameter der Akteure des Forschungsvorhabens

AP	Aufgaben	Ergebnisse
2	Optimierung der Fertigungsmethodik auf der Basis der in iterativen Prozessen gewonnenen Erkenntnissen	
2.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse und Abbildung der Ergebnisse der entwickelten Fertigungsstrategie unter Berücksichtigung der vorhandenen bzw. notwendigen Planungs- und Produktionswerkzeugen sowie deren Verfügbarkeit und Kapazität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelle der Fertigungsmethodiken mit Abbildung der Planungswerkzeuge</li> <li>- Abbildung der vorhandenen Fertigungs- und Montagekapazitäten</li> <li>- Analyse und Aufstellung der notwendigen Fertigungskapazitäten und deren Einordnung in den Produktionsprozess</li> </ul>
2.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse der Anforderungen an die fertigungsgerechte Projektierung und Konstruktion sowie Anpassung der Schnittstellen zum Prozessdatenmanagement und der Fertigungssteuerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lastenheft zur Bewertung der Konstruktion hinsichtlich fertigungsgerechten Parametern</li> </ul>
3	Weiterführung der Entwicklungsansätze aus der Methodik zur Bewertung der Fertigungs- und montagerechtheit in die Produktion unter Nutzung der erreichten positiven Effekte und ihrer konsequenten Umsetzung	
3.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition arbeitswissenschaftlicher Anforderungen an die Fertigung von Großmodulen sowie Funktional- und Regionalmodulen und abgeleitet daraus eine Bewertung der Montagebedingungen in unterschiedlichen Fertigungsstufen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbeitswissenschaftliche Anforderungen zur Fertigung von Großmodulen</li> <li>- Arbeitswissenschaftliche Anforderungen zur Fertigung von Funktionalmodulen</li> <li>- Arbeitswissenschaftliche Anforderungen zur Fertigung von Regionalmodulen</li> <li>- Festlegung der separaten Fertigungsstufen und deren Bewertung</li> <li>- Festlegung der Montagestufen und deren Bewertung</li> </ul>

AP	Aufgaben	Ergebnisse
3.1	- Entwicklung der notwendigen, innerhalb des Verbundprojektes abgestimmten, Prozessen in den Phasen der Entwicklung, Projektierung und Fertigung und die Definition der Abhängigkeiten untereinander	- Darstellung der einzelnen Prozesse und deren Zuordnung für die Phasen: - Entwicklung - Projektierung / Konstruktion - Fertigung
4	Entwicklung und Modellierung einer Montagetechnologie für Funktions- und Raummodule bzw. Sektionsmodule auf Basis der Entwicklungen aus den vorgelegten Arbeitsinhalten bzw. Optimierung vorhandener Montagetechnologien an die Bedürfnisse und Erfordernisse einer virtuellen Modulfabrik bzw. verteilter Fertigung und Montage	
4.1	- Analyse und Bewertung der vorhandenen Montagetechnologien beim Finalproduzenten und externem Zulieferer unter Berücksichtigung einer verteilten Fertigung und Montage	- Matrix zur verteilten Fertigung und Montage mit Darstellung der einzelnen Montageprozesse und differenzierten Ergebnissen zum Fertigungsfortschritt zu darauf folgenden Montagen beim Finalproduzenten - Untersetzung der jeweiligen Fertigungsprozesse und Darstellung der unterschiedlichen Einbindungsphasen von vorgefertigten Modulen und Modulesegmenten in den Prozess des Finalproduzenten
4.2	- Entwicklung neuer Montagetechnologien hinsichtlich der optimierten Fertigungsmethodiken auf Basis der Einsatzmöglichkeiten und Rahmenbedingung des Finalproduzenten	- Montagetechnologien zur Einbindung beim Finalproduzenten in Abhängigkeit der Bau- und Montagetechnologien
4.3	- Analyse und Optimierung der entwickelten Montagetechnologien unter Berücksichtigung der Schnittstellen zum Verbundvorhaben unter Einbeziehung aller Akteure	- Virtuelle Erprobung der Montagetechnologien im Zusammenspiel aller Akteure

AP	Aufgaben	Ergebnisse
5	Optimierung der Montageprozesse an den Bedürfnissen der Baumethodiken der Finalproduzenten	
5.1	- Entwicklung von Montagekonzepten unter Beachtung der finalen Baumethodik und der Anarbeitung von Großmodulen sowie Regional- und Funktionalmodulen einschließlich Ermittlung zugehöriger logistischer Kapazitäten und Möglichkeiten	- Montage- und Logistikkonzepte zur verteilten Fertigung und Montage
5.2	- Entwicklung von Montagefolgeregeln und Entwicklung von Lösungen zur variablen Schnittstellengestaltung, z.B. Verbindungssysteme, Durchführungen, etc.	- Montagetechnologien und Systemgestaltungsmodelle - Bereitstellung geometrische Parameter zur Montagefolge - Flexible, variable Schnittstellen zur Adaption differenzierter Modulklasse
5.3	- Erarbeitung der Beziehungen zwischen der Baumethodik der Großmodule sowie Regional- und Funktionalmodulen und der Baumethodik des Finalproduktes	- Vergleichende Betrachtungen der Baumethodiken von Großmodulen und Funktionalmodulen - Adaption differenzierter Fertigungstechnologie von Großmodulen und Funktionalmodulen
6	Erprobung der Gesamtmethode	
6.1	- Erprobung der Gesamtmethodik für alle Prozesse und entwickelten Lösungen und Lösungsansätze unter Einbeziehung aller am Verbundforschungsvorhaben beteiligten Partner unter Berücksichtigung der Schnittstellen zum Finalproduzenten und im Prozessdatenmanagement	- Virtuelle Erprobung und Simulation der entwickelten Methodiken und Strategien - Abgleich der Funktionalität der Prozesse und Parameter mit den Zielfunktionen - Simulation der Gesamtmethodik an einem ausgewählten Funktionalmodul und einem Großmodul

AP	Aufgaben	Ergebnisse
6.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufwandsvergleiche und Aufwandskalkulationen zur Ermittlung validierter Lösungen für die Einzelstufen des Gesamtprojektes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wirtschaftliche Betrachtungen der Gesamtmethodik und vergleichende Auswertungen der Ergebnisse der kalkulatorischen Ergebnisse</li> <li>- Zusammenfassung der Kalkulationen und betriebswirtschaftliche Bewertung der Gesamtmethodik</li> <li>- Vergleich der Ergebnisse mit realen Aufwendungen des Finalproduzenten</li> </ul>
6.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs zur Umsetzung im Unternehmen, Entwicklung von Handlungsanleitungen, und Erarbeitung der Inhalte für eine Umsetzung der entwickelten Fertigungs- und Montagetechnologie für verteilte Entwicklung, Projektierung und Fertigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmenkatalog</li> <li>- Handlungsanleitungen</li> <li>- Definition weiterführender Arbeiten</li> <li>- Pflichtenheft zur Umsetzung der entwickelten Methodiken</li> </ul>

## 4 vorheriger wissenschaftlicher Stand und technischer Stand

### 4.1 Funktionalmodule

Während die Modularisierung einzelner Teilsysteme des komplexen Schiffsmaschinenbetriebes sowie der zugehörigen Peripherie und die Modularisierung von Raum- bzw. Sektionseinheiten, Stand der Technik sind, war die Bildung einer virtuellen Modulfabrik, d.h. das Zusammenwirken mehrerer Akteure und die Nutzung des gemeinsam erworbenen Know-hows technisches und wissenschaftliches Neuland.

### 4.2 Groß- und Regionalmodule

In Schiffen und Off-Shore-Anlagen werden größere Systeme und Anlagen mit einem Wertumfang von teilweise über 50 Mio. € zur Erfüllung komplexer Aufgaben beim Medientransport, zur Energieverteilung und zur Gewährleistung von Sicherheitsforderungen eingesetzt.

Die gegenwärtige und weiter anhaltende Struktur- und Marktentwicklung im maritimen Anlagenbau ist gekennzeichnet durch signifikante Kriterien wie z.B. Konzentra-

tion der Werften und Großanlagenhersteller auf das Kerngeschäft, dynamische technische Entwicklung, etc.

#### 4.3 Modularisierung

Während die Modularisierung von Systemeinheiten und systemübergreifenden Baugruppen (z.B. Separatoreinheit, Frischwassererzeuger, Pumpenblöcke) einen Entwicklungstrend darstellt, hat der Einsatz virtueller Modulfabriken im Schiffbau bisher kaum Anwendung gefunden, da die derzeitige Baumethodik von Schiffen diesen Lösungsansatz nicht gefördert hat. Funktionalmodule werden derzeit als Einzelsegmente gefertigt und nur teilweise und mit geringem Vorfertigungsgrad im Schiff montiert. Der damit verbundene Fertigungsaufwand in der Montage ist hoch und vergrößert die Durchlaufzeit des Schiffes. Die durch verteilte virtuelle Entwicklung, Fertigung und Montage von Modulen und die mögliche Verlagerung der Arbeiten von der Bordmontage in die Vorfertigung stellt ein bislang unerschlossenes Rationalisierungspotential im Schiffbau dar.

### 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Forschungsvorhaben „Virtuelle Modulfabrik für Schiffe“ wurde projektübergreifend mit mehreren Unternehmen und vor allem mit im InnoRegio-Projekt „Maritime Allianz Ostseeregion“ involvierten Unternehmen zusammengearbeitet. Diese Zusammenarbeit war auch unbedingt notwendig, um alle wesentlichen Einflussfaktoren auf eine starke Zusammenarbeit aufzunehmen und mit in die Entwicklungen einfließen zu lassen. Unterteilen lässt sich die Art der Zusammenarbeit nach Projekten der InnoRegio „Maritime Allianz Ostseeregion“ und nach existierenden Produkten von Unternehmen. Explizit wurde mit dem Verbundprojekt 1 „Maritimes Kooperationsnetzwerk“ zusammengearbeitet. Dabei wurde Wert auf einen regen Informationsaustausch der jeweiligen Erkenntnisse gelegt. Die im MariCoNet entwickelten Netzwerkstrukturen waren ein wesentlicher Faktor zum Informationsaustausch und zur netzwerkbasierten Darstellung und Abbildung der Projektmanagementaufgaben und der Projektsteuerung.

Für das Teilprojekt „Modellierung und Optimierung der Fertigungs- und Montageprozesse in der Virtuellen Modulfabrik“ war die projektübergreifende Arbeit in Verbindung mit der gezielten Zusammenarbeit ausgewählter Unternehmen aus anderen

Leistungsverbänden eine Notwendigkeit, die Ergebnisse zu evaluieren und die Erkenntnisse und Entwicklungen Dritten transparent zu machen.

## II Eingehende Darstellung

### 1 Erzielte Ergebnisse

#### 1.1 Ergebnisse des AP 1

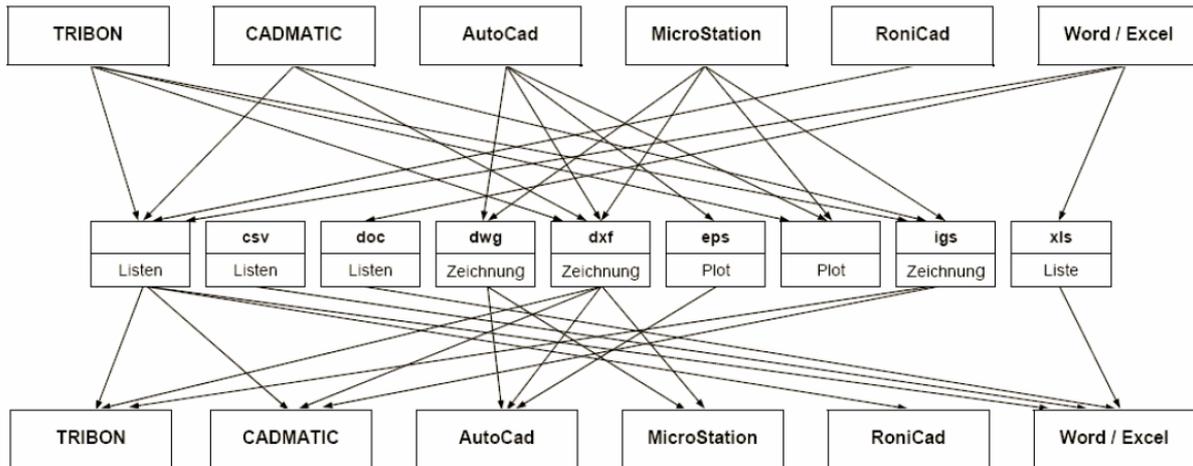
Im Projekt wurde eine Analyse und differenzierte Abbildungen der Prozesse in den Bereichen Projektierung, Konstruktion, Fertigung und Montage durchgeführt. Hierbei sind die Strukturen und Prozesse der einzelnen Bereiche bei den beteiligten Akteuren des Forschungsvorhabens abgebildet worden und hinsichtlich ihrer möglichen einheitlichen Umsetzung bewertet worden.

Akteur	Bereich / Prozess	Bewertungskriterien
Aker MTW	Projektierung	Anforderungsprofil des Finalproduktes: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Containerschiffe</li> <li>- Passagierschiffe</li> <li>- Tanker (LNG, CNG)</li> <li>- Bulk carrier</li> </ul>
Aker MTW	Konstruktion	CAD Systeme und Konstruktionsrichtlinien: <ul style="list-style-type: none"> <li>- TRIBON / TRIBON Pipe</li> <li>- Nupas Cadmatic</li> <li>- Medusa MPDS</li> <li>- Schnittstellen</li> </ul>

Akteur	Bereich / Prozess	Bewertungskriterien
Aker MTW	Fertigung	Fertigungsprozesse: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Serienfertigung</li> <li>- Inselfertigung</li> <li>- Einzel- bzw. Fertigungsmusterfertigung</li> <li>- Arbeitsvorbereitungen</li> <li>- Materialflüsse und Materialbereitstellung</li> <li>- Fertigungssteuerung (PPS, BDE, PDMS)</li> </ul>
Aker MTW	Montage	Montageprozesse: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorfertigungsgrad</li> <li>- Logistische Ketten innerhalb der Montage</li> <li>- Vorausrüstungsgrad</li> <li>- Serienmontage / -prozesse</li> <li>- Montagebedingungen</li> </ul>
MTE	Konstruktion	CAD Systeme und Konstruktionsrichtlinien <ul style="list-style-type: none"> <li>- TRIBON / TRIBON Pipe</li> <li>- Nupas Cadmatic</li> <li>- Medusa MPDS</li> <li>- Schnittstellen</li> </ul>
ZGDV	Datenübertragung	Schnittstellendefinitionen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse der zu übergebenen und zu übernehmenden Daten</li> <li>- Analyse der Komplexität der Daten</li> <li>- Bewertung der Relevanz der Datenstrukturen</li> <li>- Vorhandene Tools zur Datenmigration</li> </ul>

Akteur	Bereich / Prozess	Bewertungskriterien
Fraunhofer IPA	Prozesssteuerung	Prozessketten: - Modelle zur Bewertung der Produktions-, Steuerungs- und Planungssysteme - Tools zur Bewertung der Steuerungssysteme
SAB Barth	Konstruktion	CAD Systeme und Konstruktionsrichtlinien: - Auto CAD 2000 - Mechanical Desktop - AutoCAD Migration Tools
SAB Barth	Fertigung	Fertigungsprozesse: - Serienfertigung - Inselfertigung - Einzel- bzw. Fertigungsmusterfertigung - Arbeitsvorbereitungen - Materialflüsse und Materialbereitstellung - Fertigungssteuerung (PPS, BDE, ERP / MRP)
	Montage	Montageprozesse: - Vorfertigungsgrad - Logistische Ketten innerhalb der Montage - Serienmontage / -prozesse - Montagebedingungen

Die folgende, beim Fraunhofer Anwendungszentrum entwickelte, Abbildung gibt einen Überblick über die eingesetzten Softwaresysteme und zeigt gleichzeitig die Komplexität der Anforderungen an ein einheitliches Datenmanagement.



Um innerhalb des Vorhabens auf einer einheitlichen Datenstruktur zu arbeiten, sind bei den einzelnen Akteuren die jeweiligen CAD-Systeme und Steuerungssysteme bewertet worden und eine Minimalanforderung an die Schnittstellen definiert worden. Hierbei stellt jeweils der Akteur mit den geringsten datentechnischen Voraussetzungen die Minimalanforderungen. Eine zusätzliche Implementierung von weiterführenden CAD- und Steuerungssystemen ist aus wirtschaftlicher Sicht wenig sinnvoll, da neben der Einführung von neuen Systemen, der unternehmensinterne Schulungsaufwand für das bedienende Personal in keinem Verhältnis zur zu erreichenden Wertschöpfung steht, da die Institution „virtuelle Modulfabrik für Schiffe“ jeweils nur einen Teilbereich der unternehmerischen Aktivitäten der einzelnen Akteure darstellt und abzuleitende Vorteile für die Unternehmen in anderen Kompetenzfeldern nicht aufzuzeigen waren.

Die zu übergebenden Daten und technischen Informationen lassen sich wie folgt klassifizieren:

System	Daten
Konstruktionssysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CAD-Daten</li> <li>- CNC-Daten für numerisch gesteuerte Maschinen und Anlagen</li> </ul>

System	Daten
Produktions-, Planungs- und Steuerungssysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektverwaltung</li> <li>- Projektplanung</li> <li>- Projektsteuerung</li> <li>- Projektcontrolling</li> <li>- Betriebsdatenerfassung</li> <li>- Personalzeiterfassung</li> <li>- Kapazitätsplanung und -belegung</li> </ul>

Aufeinanderfolgende Prozesse innerhalb des Forschungsvorhabens bedürfen einer eindeutigen Zuordnung zu den beteiligten Akteuren, deren Kompetenzfeldern und Primärkompetenzen.

Die Definition der Entscheidungskriterien erfolgte demnach in der Reihenfolge der Ausgangssituationen der einzelnen Projektschritte, der angestrebten Ergebnisse, basierend auf der Meilensteinplanung, und dem zu erwartendem Ergebnis.

Die grobe Konzeption beinhaltet im Wesentlichen die Aktionen und die daraus resultierenden Ergebnisse der Akteure innerhalb des Forschungsvorhabens.

In einem Pflichten- bzw. Lastenheft sind die jeweiligen Entscheidungskriterien dargestellt, den innerbetrieblichen Abteilungen der Akteure zugeordnet und die zeitlichen Parameter zu Bearbeitung dieser Entscheidungskriterien festgelegt worden.

Auf eine Darstellung des Pflichten- und Lastenheftes wird unter Berücksichtigung der unternehmerischen Relevanz nach Rücksprache mit den Akteuren verzichtet.

## 1.2 Ergebnisse des AP 2

Mit der Analyse der entwickelten Fertigungsstrategien sind in abhängig des Finalproduktes unterschiedliche Modelle zur Fertigungsmethodik betrachtet worden. Unter Berücksichtigung der spezifischen Ausgangssituation des Forschungsvorhabens wurde gemeinsam mit den beteiligten Akteuren ein Modell der Fertigungsmethodik entwickelt, bzw. Teile bekannter Methodiken adaptiert und das Modell nach dem tatsächlichen Bedarf eines Produktes angewandt.

Bedarf bedeutet, dass nur produziert, bzw. Leistung erbracht wird, wenn ein Bedarf eines Abnehmers vorliegt. Damit wird alle Produktion aus anderen Gesichtspunkten, z.B. zur Auslastung der Anlagen, vermieden einschließlich der damit verbundenen Probleme, wie z. B. unverkäufliche Ware.

Die erste Forderung der "Fertigung zum Bedarfszeitpunkt" ist, dass alle Fertigungsstufen in die Lage versetzt werden, schnell genaue Kenntnis über "erforderliche Zeit und Menge" zu gewinnen. Bei dem üblichen Produktionssystem wird diese Forderung folgendermaßen erfüllt:

Die Produktionsvorgaben für das Produkt werden unter Berücksichtigung der verschiedenen Einzelteil-Produktionsvorgaben und der Richtlinien für diese Herstellungsstufen ausgearbeitet. In diesen Prozessstufen werden die Einzelteile in Übereinstimmung mit ihren Vorgaben hergestellt, wobei die Methode "die vorhergehende Prozessstufe liefert die Einzelteile bzw. Einzelinformationen an die folgende", Anwendung findet. Hierbei wird jedoch festgestellt, dass es bei dieser Methode sehr schwierig ist, die Produktion den Änderungen anzupassen. Um die erste Bedingung realisieren zu können, wendet die Schlanke Produktion die umgekehrte Methode an, indem "die nachfolgende Prozessstufe die Teile von der vorhergehenden Stufe abruft", anstelle dass die "vorhergehende Stufe die Teile an die nachfolgende liefert". Hierfür gibt es folgende Begründung: "Fertigung zum Bedarfszeitpunkt" ist die Herstellung von Teilen in den verschiedenen Prozessstufen, in den benötigten Mengen, zum erforderlichen Zeitpunkt zur Montage eines Fahrzeugs als Endprodukt des Unternehmens. Wenn dies richtig ist, kann festgestellt werden, dass nur die Endmonta-

gelinie, in der das Produkt fertiggestellt wird, diejenige Prozessstufe ist, die exakt den erforderlichen Zeitpunkt und die Menge, der Einzelteile und Informationen bestimmt.

Demzufolge werden durch die Endmontage die notwendigen Teile zum erforderlichen Zeitpunkt von der vorhergehenden Prozessstufe abgerufen. Die vorhergehende Prozessstufe produziert dann die Teile, die von der nachfolgenden Stufe abgerufen worden sind. Für die Herstellung dieser Teile erhält die vorhergehende Stufe die erforderlichen Teile von der jeweils davor liegenden Stufe. Durch die Verbindung aller Prozessstufen auf diese Weise wird es für das gesamte Unternehmen möglich sein, die "Fertigung zum Bedarfszeitpunkt" anzuwenden, ohne die Notwendigkeit, langwierige Produktionsaufträge für jede einzelne Prozessstufe auszustellen.

Die zweite Forderung der "Fertigung zum Bedarfszeitpunkt" ist, dass alle Stufen den Zustand anstreben, bei dem jede Stufe nur ein Stück herstellen und weiterleiten kann und darüber hinaus - sowohl an der Maschine als auch zwischen den einzelnen Stufen - nur ein Stück als Vorrat hat. Dies bedeutet, dass es den Prozessstufen in keinem Fall erlaubt ist, eine zusätzliche Menge herzustellen und eine Bevorratung innerhalb der Prozessstufen vorzunehmen. Deshalb muss jede Prozessstufe den Zustand anstreben, in dem sie nur ein Stück herstellt und weiterleitet, passend zu dem Produkt, das die Endmontagelinie verlassen soll.

Somit kann die Verfügbarkeit von Fertigungskapazitäten den wirklich erforderlichen Montagekapazitäten angepasst werden bzw. der Montageprozess stellt die Anforderungen an die vorgelagerten Fertigungsprozesse.

Dies ist in sofern notwendig, da auch unter Berücksichtigung einer Serienfertigung, die Output – Leistung einer Großserienfertigung nicht erreicht werden kann.

Schlussfolgernd aus diesen Ergebnissen wird die tatsächlich zur Verfügung stehende Fertigungskapazitäten den Montagekapazitäten, sowohl beim externen Modulfertiger als auch beim Finalproduzenten angepasst werden müssen.

Vorhalten von Fertigungs- und Montagekapazitäten stehen in keiner wirtschaftlichen Relation zur erreichbaren Wertschöpfung einer konsequenten Unternehmung.

Durch den virtuellen Verbund unterschiedlicher Akteure ergeben sich auch unterschiedliche Anforderungen an die zur Verfügung zu stellenden Informationen und Parameter für die Fertigung. Dabei ist abzugleichen, unter welchen Produktions- und Fertigungsbedingungen die jeweiligen Produkte herzustellen sind und auf welche Ressourcen zurück gegriffen werden kann. Zwangsläufig lassen sich die Fertigungs- und Montagebedingungen beim Finalproduzenten (Werft) nicht mit denen des externen Zulieferers (Modulfertiger) vergleichen. Aufgabe war es eine einheitliche Ausgangsbasis für die zu erstellenden Informationen zu schaffen, bzw. Gemeinsamkeiten aufzudecken und abzugleichen. Besonderen Wert wurde bei der Bewertung und Definition der fertigungsgerechten Konstruktion auf die primären Zielsetzungen der Fertigungsgerechtigkeit gelegt.

- Vereinfachung des Fertigungsprozesses bzw. Einsatz eines einfacheren Fertigungsverfahrens
- Erhöhung der Prozesssicherheit zur Reduzierung der Fehleranfälligkeit
- Erhöhung des Automatisierungsgrades

Der Oberbegriff fertigungsgerechte Konstruktion lässt sich aufgrund der Vielzahl von Fertigungsverfahren in verfahrensspezifische Restriktionen, wie beispielsweise gieß- oder schmiedegerecht, untergliedern. Ein durchgängiger Aspekt ist dabei die Berücksichtigung einer NC-Bearbeitung sowie allgemein einer automatisierungsgerechten Konstruktion.

Fertigungsgerechtes Konstruieren kommt vor allem in der Entwurfsphase des Konstruktionsprozesses zum Einsatz, da hier die wesentlichen fertigungsbezogenen Aspekte des Produkts festgelegt werden. Jedoch müssen auch in der Konzept- und Ausarbeitungsphase Fertigungsaspekte berücksichtigt werden.

Die fertigungsgerechte Konstruktion sollte parallel zur Optimierung von Transport- und Handhabungsvorgängen sowie zur werkstoffgerechten Gestaltung erfolgen.

Grundvoraussetzung für eine fertigungsgerechte Konstruktion ist die genaue Kenntnis der einsetzbaren Fertigungsverfahren. Dabei sollte nicht nur der verfügbare Maschinenpark berücksichtigt werden, sondern auch die Möglichkeit des Outsourcing oder der Beschaffung zusätzlicher Fertigungsmittel. Neben der Erfahrung aus Vor-

gängerprodukten stehen dem Konstrukteur als Hilfsmittel eine Reihe von Richtlinien mit Gut-/Schlecht-Beispielen zu verschiedenen Fertigungsverfahren zur Verfügung. Fertigungsgerechtes Konstruieren wird erleichtert, wenn von einer möglichst frühen Konstruktionsphase an die Entscheidungen des Konstrukteurs durch Mitarbeit und Informationsbereitstellung der Normenstelle, der Arbeitsvorbereitung, der Kalkulation, des Einkaufs und der jeweiligen Fertigungsstelle unterstützt werden.

Wie im AP 1 eingehend erläutert, gibt es innerhalb des Forschungsverbundes unterschiedliche CAD-Systeme. Um die verschiedenen CAD-Systeme nicht als Insellösungen der einzelnen Unternehmen zu betrachten, sondern mit anderen Akteuren auf einer einheitlichen Kommunikationsplattform funktionieren soll, war es unabdingbar, eine gemeinsame, allgemeingültige Schnittstellensystematik zu formulieren und zu entwickeln. Diese Entwicklungsleistung ist durch den Projektpartner ZGDV erbracht worden und erfolgreich eingeführt worden. Dabei stellte die SAB Barth GmbH einen Teil der Anforderungen an die Daten und deren Struktur zur Verfügung.

Daten	Struktur
- CAD-System	- AutoCAD 2000 - dwg, dxf, dwt, skd
- PPS-System	- dbase, sql applets, csv
- BDE-System	- xls, xlt, txt

### 1.3 Ergebnisse des AP 3

Die Ausgestaltung „humaner“ Arbeit wird im Grundsätzlichen nicht den individuellen Vorstellungen und Interessen der Arbeitsgestalter überlassen. Es gibt vielmehr eine Reihe von Gesetzen, die verlangen, bei Gestaltungsmaßnahmen gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse anzuwenden. Darüber hinaus existieren unzählige Verordnungen, Richtlinien, Vorschriften und andere Normen (in die ergonomisches, psychologisches, soziologisches u.a. Wissen einfließt), die Gestaltungsvorhaben orientieren, aber auch einengen können; und es gibt die unterschiedlichsten Organe, Organisationen und Institutionen, die mit Rechten ausgestattet sind, um deren Ein-

haltung zu überwachen. Darum ist es bereits bei der Beschreibung und Analyse von Problembereichen der Gestaltung sinnvoll, sich auf theoretisch und empirisch begründete Kriterien zu stützen.

Ergonomen, Arbeitsmediziner, Ingenieur- und Arbeitspsychologen und andere Sozialwissenschaftler haben grundlegende Ziel- bzw. Bewertungshierarchien entwickelt, die entsprechende Maßstäbe bereitstellen. In der wissenschaftlichen Diskussion sind vier oder fünf grundlegende Ebenen der Humanität bzw. Zieldimensionen für die Humanisierung der Arbeit herausgearbeitet worden.

- Ausführbarkeit
- Schädigungslosigkeit
- Beeinträchtigungsfreiheit, Zumutbarkeit
- Persönlichkeitsförderlichkeit

Für die arbeitswissenschaftliche Bestandsaufnahme ist entscheidend, dass sich aus der Anwendung der Schemata und weiterer theoretischer Grundlagen ein Bezugsrahmen für die Begutachtung der Arbeitsbedingungen bei der Fertigung von Modulen (Funktional-, Regional- und Großmodulen) gewinnen lässt. Nicht zuletzt erfahren die humanen Gestaltungsziele durch sie eine arbeitswissenschaftliche Begründung. Ob die Ebenen in einer hierarchischen Abfolge zueinander stehen, ist für die Problembereichsanalyse von untergeordneter Bedeutung.

Eine Sammlung von Daten und ihre Auswertung geschehen jedoch nicht unter dem Gesichtspunkt der Vollständigkeit oder der Ausgewogenheit, sondern sind von vornherein selektiv. Die Bestandsaufnahme dient der Beschreibung und Analyse von Problembereichen mit Ziel, schwerwiegende Gestaltungsmängel und -probleme auffindig und kenntlich zu machen. Solche Problembereiche sind potentielle Ansatzpunkte für Veränderungen. Sie sind die konkreten Bezugspunkte für die Ausarbeitung von Gestaltungsempfehlungen und die Formulierung von spezifischeren Anforderungen an eine humanere Gestaltung der Arbeitsbedingungen.

GESTALTUNGSZIELE/ - KRITERIEN DER ARBEIT	Konsequenzen für die Menschen bei Erfüllung oder Nichterfüllung der Humankriterien	
	erfüllt	unerfüllt
<i>Persönlichkeitsförderlichkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entfaltung, Wohlbefinden</li> <li>• Annehmlichkeit, soziale Zustimmung</li> <li>• ohne Beeinträchtigungen</li> <li>• Physische und psychische Unversehrtheit</li> <li>• menschenmöglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deprivation und Unzufriedenheit</li> <li>• Lästigkeit, soziale Ablehnung</li> <li>• Erschöpfung, funktionelle Störungen</li> <li>• Erkrankungen, Verletzungen</li> <li>• menschenunmöglich</li> </ul>
▲ <i>Zumutbarkeit</i>		
▲ <i>Beeinträchtigungsfreiheit</i>		
▲ <i>Schädigungslosigkeit</i>		
▲ <i>Ausführbarkeit</i>		

Beispielgebend dokumentiert sind die für die Fertigung und Montage von Großmodulen die relevanten verschiedenen Bewertungsbereiche. Die Ausführungen sind als eine vorläufige Bewertung zu betrachten. Den Kriterien wurden Ober- und Untergrenzen zugeordnet, wobei die Untergrenze den Wert 0 und die Obergrenze den Wert 10 erhält. Es wurden insgesamt 6 Bewertungsbereiche gebildet. Den einzelnen Bewertungsbereichen wurden Ziele und Kriterien zugeordnet.

Die folgende Bewertungstabelle gibt einen Überblick über alle Zielbereiche und alle Kriterien:

allg. Ziele	Einzelziele	Anforderungen	Bewertungskriterien
<b>personelle Ziele</b>	Verbesserung der Arbeitsbedingungen	gute Ausführbarkeit der Arbeit	Handhabbarkeit des Montagemethodik
			Arbeitsplatzbedingungen
			Qualifikationserfordernis
	Reduktion der Belastungen	geringe Belastungen	physische Belastungen
			psychische Belastungen
	Verminderung der Gesundheitsrisiken	geringe Gesundheitsrisiken	Gesundheitsrisiken
			Unfallrisiken
	Sicherstellung der Arbeitsschutzrichtlinien	Einhaltung der Arbeitsrichtlinien	Einhaltung der Arbeitsschutzrichtlinien an Bord
			Einhaltung der Arbeitsschutzrichtlinien in der Werkstatt

allg. Ziele	Einzelziele	Anforderungen	Bewertungskriterien
<b>Leistungsziele</b>	Steigerung der Arbeitsproduktivität	Hoher Fertigungsdurchsatz	Leistung je Fertigungseinheit
<b>Organisatorische Ziele</b>	Verbesserung der Arbeitsabläufe	optimale Arbeitsabläufe	Arbeitsablauforganisation
	Flexibilisierung der Modulfertigung	hohe Ablaufflexibilität	Flexibilität hinsichtlich der Modulgröße
			Flexibilität des Einsatzes auf unterschiedlichen Schiffstypen
		hohe Gewichtsflexibilität	Flexibilität der Bordmontage bei variierenden Modulgewichten
		Einsatz der alternativen Fertigungsmethodik in nationalen und internationalen Leistungsverbänden	Einsatz der alternativen Fertigungsmethodik bei unterschiedlichen schiffbaulichen Rahmenbedingungen
<b>technische Ziele</b>	Erhöhung der System-sicherheit	hoher Sicherheitsstandard	Montagesicherheit
	Vereinfachung der Modulfertigung und Modulmontage	Einfachheit der Fertigung und Montage	Umfang der erforderlichen Arbeitsmittel und technischen Geräte
			Kompatibilität mit anderen Modulsystemen
	Gewichtsminimierung des Gesamtsystems		Leistungskapazität je Modul
<b>Kostenziele</b>	Verringerung Herstellzeiten des Finalproduktes	Kostenreduzierung	Gesamtwirtschaftliche Betrachtung
		geringere Investitionskosten zur herkömmlichen Technologie	Material- und Anlagenkosten auf Schiffen
		geringe Betriebskosten	Effiziente Systeme
			Jährliche Unterhaltungskosten für Material und Anlagen auf Schiffen
	Erhöhung der Produktivität	kurze Fertigungsdurchlaufzeiten	Gesamtkosten Schiff
			Transportkapazität der Schiffe
<b>überbetriebliche Ziele</b>	Minimierung gesellschaftlicher Folgekosten	Reduzierung Unfallgefahren	spezifische Anzahl von Unfällen
			Ausbildung an alternativen Methodiken
		Erhaltung der Arbeitsplätze	spezifischer Personalbedarf

Zur weiteren Untersetzung der vergleichenden Betrachtung der arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen und der Planungs- und Steuerungssystemen sind verschiedenen Benchmarking - Untersuchungen durchgeführt worden. Grundlage dabei bildeten unterschiedliche Betrachtungen der Nutzung und der Funktionalität von PPS/ERP-Systemen.

Es wurden zuerst einmal die Kernprozesse aus der Aufgabenvielfalt herausgefiltert. Jeder dieser Leistungsprozesse wird im ersten Schritt über einen charakteristischen Geschäftsvorfall dokumentiert. Der Geschäftsvorfall ist dadurch gekennzeichnet, dass alle Informationen zu einem Endprodukt zusammengestellt werden, und zwar von den einzelnen Abrufen in der Disposition, über die bestehenden Arbeitsanweisungen in der Fertigung und die Einkaufsunterlagen für die Zukaufsteile bzw. Rohstoffe, bis hin zu den Versandanweisungen. Anhand der Daten kann der Gesamtprozess für dieses charakteristische Teil dargestellt und analysiert werden.

Welcher Steuerungsansatz dann zukünftig auf einer Prozessstufe zum Einsatz kommt, hängt einerseits von den Anforderungen und andererseits von den organisatorischen bzw. technischen Gegebenheiten ab. Konkret bedeutet das: Die Sachzwänge entscheiden, ob z.B. eine Steuerung nach MRP (material requirement planning), Kanban oder Fortschrittszahlen verwendet wird. Und genau diese Sachzwänge gilt es anhand der charakteristischen Geschäftsvorfälle zu messen.

Aus den Anforderungen, die auf ein Zulieferunternehmen und im Detail auf jede einzelne Prozessstufe wirken, kann die Häufigkeit der Bedarfsschwankungen herausgehoben werden. Dieses Maß legt die geforderte Flexibilität an den Planungsalgorithmus fest. Die notwendigen Kennzahlen werden dabei aus den einzelnen Abrufeinteilungen gewonnen. Die Abrufe gilt es über einen längeren Zeitraum zu sammeln und auszuwerten, um dadurch längerfristige Tendenzen zu erkennen.

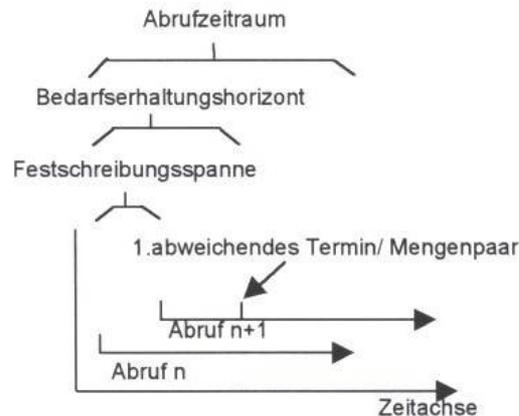


Abb.: Messpunkte für Bedarfsschwankungen

Die Kennzahlen sind im einzelnen:

- **Festschreibungsspanne**  
Gemessen wird die Differenz der Zeitpunkte (in Zeiteinheiten), an denen zwei aufeinander folgende Abrufe im Unternehmen eingehen.
- **Bedarfserhaltungshorizont**  
Der erste Zeitpunkt, an dem die Bedarfsanforderungen des neuen Abrufs vom bisher gültigen Abruf abweichen, legt das Ende des Bedarfserhaltungshorizonts fest.
  - Zeitspanne des Bedarfserhaltungshorizonts
  - Höhe der ersten Abweichung zweier Abrufe (z.B. in Prozent)
- **Abrufzeitraum**  
Über den Gesamtzeitraum eines einzelnen Abrufs können einerseits Auswertungen über den Bedarfsverlauf innerhalb des Abrufs und andererseits Informationen über die Gesamtveränderungen zwischen verschiedenen Abrufen durchgeführt werden.

Alleine von den Bedarfsschwankungen lässt sich das geeignete Planungsverfahren nicht ableiten, denn außer den Anforderungen spielt auch die Reaktionsfähigkeit der

eigenen Produktion bzw. der am Produktionsprozess beteiligten Verbundprojektpartner eine wesentliche Rolle. Die Frage, ob Bedarfsschwankungen (z.B. 10%) überhaupt von der Organisation und den technischen Gegebenheiten verkraftet werden können muss dabei explizit betrachtet werden, da seitens des Finalproduzenten keine kontinuierliche Abnahme von Module gewährleistet werden kann? Um auf diese Frage eine Antwort zu finden, ist es unabdingbar, dass der Gesamtprozess in die einzelnen Fertigungsstufen aufgeteilt wird. Mit den nachfolgenden Kenngrößen lässt sich dann die Reaktionsfähigkeit messen:

- **maximaler Ausstoß pro Tag**  
Anzahl der Teile, die an einem Tag gefertigt werden können. In diesem Erfahrungswert werden Größen, wie Kapazitätsangebot, Kapazitätsbelastung und Werkzeugstandzeiten erfasst. Ein Anhaltspunkt geben dabei die Rückmeldungen aus der Vergangenheit.
- **Durchlaufzeit pro Fertigungsstufe**  
Zeitdauer, die ein Teil vom Eingang der Unterteile bis zur endgültigen Weitergabe in der Kapazitätseinheit verweilt. Wichtige Kenngrößen sind hier die Produktionszeit und die technisch bedingten Liegezeiten (Materialdispositionen, Trockenzeiten nach der Konservierung, etc.).
- **Qualifikation der Mitarbeiter**  
Können die Mitarbeiter eines Produktionsbereiches logistische Aufgabenstellungen lösen?
- **Abwicklungszeit im Wareneingang und -ausgang**  
Verweildauer von Teilen, die entweder versandt oder vereinnahmt werden. Hier gilt es auch die Zeitspanne zu betrachten, in der die Teile einer Qualitätssicherung zugeführt werden.
- **Wiederbeschaffungsbedingungen**  
Werden Teile fremdgefertigt oder eingekauft, so gilt es die Reaktionsfähigkeit des Partners zu erfassen. Welche Zeitspanne benötigt er, um auf Bedarfsveränderungen zu reagieren? Können geringe Schwankungen (bis z.B. 10%) sofort bedient werden? Ist eine Bestellung losgrößenabhängig?

- Wertschöpfung  
Kosten, die das Teil in der Fertigungsstufe verursacht. Zusätzlich ist der Wert des Teiles interessant, den es nach der Bearbeitung erreicht. Ein aufwendiges Planungsverfahren für eine geringe Wertschöpfung ist fraglich, da unter Umständen ein geeigneter Lagerbestand kostengünstiger ist.
- Lagerkapazitäten  
Lagerplatz, der für die Teile verfügbar ist. Gerade bei großvolumigen Teilen kann die Lagerkapazität Einfluss auf die Planung haben.
- Transportkapazitäten / Logistische Prozesse  
Transportrestriktionen, z.B. Lieferung erfolgt nur bei Bestellung eines vollen Lkws oder die Lieferung wird nur an bestimmten Tagen durchgeführt.
- Können Baugruppen mit definierten Gewichten und Stückgrößen innerhalb der Unternehmung transportiert werden

Obwohl diese Werte oftmals nur Näherungen des tatsächlichen Geschehens darstellen, lassen sich Engpässen im Gesamtprozess schnell erkennen.

Wird nun ein bestimmtes Planungsverfahren auf einer Prozessstufe eingesetzt, so stellt es – außer den Möglichkeiten – auch Anforderungen an die Organisation und die Qualifikation der Mitarbeiter.

Die Umsetzung der abgestimmten Prozesse erfolgte unter Nutzung der Zuarbeit der SAB Barth GmbH durch das Fraunhofer Anwendungszentrum.

Die dabei, für den SAB Barth GmbH, relevanten Prozesse finden sich in den Phasen der Konstruktion sowie Fertigung und Montage. Hierbei wird auf die Inhalte des AP 2, fertigungsrechte Konstruktion, und Fertigungs- und Montagethodiken verwiesen.

Direkte Abhängigkeiten bestehen in den Strukturen der Schnittstellen und den damit verbundenen Datensystemen. Mittels der beim ZGDV entwickelten Schnittstellen können die Daten zur Fertigung und Montage aus den vorgelagerten CAD-Systemen in das Produktions-, Planungs- und Steuerungssystem des SAB Barth GmbH einge-

bunden und zur weiteren Fertigung verwendet werden. Dabei konzentrierte sich die Übergabe der Date auf folgende Einzelschritte der Produktion:

#### Konstruktion:

- Übernahme von Konstruktionsdaten aus externen CAD-Systemen und Weiterverwendung im unternehmenseigenen CAD-System
- Anpassung und operativer Änderungsindex für Fertigungszeichnungen bei fehlerhaften Zeichnungsdaten

#### Arbeitsvorbereitung:

- Implementierung der Materialstrukturen und Stücklisten aus den CAD-Daten in das PPS-System des externen Fertigungsdienstleisters
- Ableitung der Zuschnittdaten aus den CAD-Daten für den Einsatz beim externen Fertigungsdienstleisters für CNC gesteuerte Brennschneidanlagen, Profilzuschnitte, Rohrzuschnitte
- Ableitung der Biegedaten aus den CAD-Daten (TRIBON Pipe) für die CNC gesteuerten Rohrbiegemaschinen

#### Materialwirtschaft:

- Generierung von Materialstücklisten zur Lagerverwaltung und Ressourcenzuordnung
- Übergabe von Aggregatelisten und technische Beschreibungen der Baugruppen zur Beschaffung
- Generierung von Bedarfsmitteilungen und Vorschlagserarbeitung für Einkaufsaktivitäten

#### Fertigung / Montage:

- Bereitstellung von Fertigungsunterlagen, wie Stücklisten, Fertigungszeichnungen, Detailzeichnungen, Materialzusammenstellungslisten

- Lieferung von CNC-Daten für numerisch gesteuerte Anlagen und Maschinen, wie z.B. Brennschneidanlagen, Rohrbiegemaschinen, Stanz- und Nippelmaschinen
- Zusammenbauzeichnungen und Montagezeichnungen

#### 1.4 Ergebnisse des AP 4

Bei der Entwicklung und Modellierung einer Montagetechnologie für Funktions- und Raummodule bzw. Sektionsmodule auf Basis der Entwicklungen aus den vorgelagerten Arbeitsinhalten bzw. Optimierung vorhandener Montagetechnologien an die Bedürfnisse und Erfordernisse einer virtuellen Modulfabrik bzw. verteilter Fertigung und Montage wurde eingehend der Ist-Zustand bei den Akteuren des Forschungsvorhabens analysiert und dargestellt. Als Fertigungs- und damit partizipierende Partner traten die Aker MTW als Finalproduzent und die SAB Barth GmbH als externer Fertigungsdienstleister auf.

Wenn es bei den Funktionalmodulen noch eine eindeutige Zuordnung der Fertigungs- und Montageprozesse gegeben hat, stellte sich die Bewertung und Analyse zur Fertigung und Montage von Regional- und Großmodulen ungleich differenzierter dar. Wesentliche Parameter bildeten hierbei die Logistik- und Montageprozesse.

Die Analyse und Bewertung der vorhandenen Montagetechnologien beim Finalproduzenten und externem Zulieferer unter Berücksichtigung einer verteilten Fertigung und Montage ergab für die genannten Akteure folgende Aufstellung:

Modultyp	Gewicht	Kapazitäten vorhanden (ja, nein)					
		Hebezeuge		Transport / Logistik		Montage	
		SAB	AMTW	SAB	AMTW	SAB	AMTW
Funktionalmodul	max. 10 t	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Regionalmodul	max. 50 t	nein	ja	ja	ja	nein	ja
Großmodul	> 50 t	nein	ja	nein	ja	nein	ja

Basierend auf dieser Matrix wurden die einzelnen Module hinsichtlich ihrer Fertigungsrelevanz klassifiziert und innerhalb der Fertigungskette den jeweiligen Fertigungs- und Montageprozessen zugeordnet bzw. zusätzliche Fertigungsprozesse

entwickelt, die eine verteilte Fertigung der Modulklassen ermöglichen. Dabei konnten beim externen Fertigungsdienstleister bekannte Fertigungstechnologien weiterhin verwendet werden, jedoch mussten auch neue Fertigungstechnologien entwickelt und virtuell erprobt werden.

Wenn bei der Fertigung und Montage von Funktionalmodulen keine kritischen Parameter aufgedeckt worden sind, so stellen die Vorfertigung von Segmenten für Regional- und Großmodulen hohe Anforderungen an die verfügbaren Kapazitäten. Aufgrund der in der Matrix abgebildeten Restriktionen ist die Fertigung vollständiger Einheiten von Regional- und Großmodulen nicht weiter untersucht worden. Vielmehr konzentrierten sich die Entwicklungen auf Methoden zur Fertigung und teilweisen Montage von größeren Einheiten, um trotz der Restriktionen einen positiven Effekt bei der Umsetzung der externen Fertigung von modularen Baugruppen zu erreichen. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Kapazitäten sind folgende Prozesse entwickelt und abgebildet worden:

- Fertigung und Montage von „aktiven Einheiten“ für Regionalmodule
  - Als aktive Einheiten werden Baugruppen bezeichnet, die technische Ausrüstungsgegenstände wie z.B. Pumpen, Filter, etc, enthalten
- Fertigung und Montage von trassierenden Baugruppen mit teilweiser tragender Funktion innerhalb einer modularen Baugruppe.
- Fertigung und Montage von Rohrsystemeinheiten nach Isometrien des Basismoduls
- Partielle Montage von Baugruppen und Rohrsträngen innerhalb einer modularen Baugruppe

Diese Untersetzung der jeweiligen Fertigungsprozesse und Darstellung der unterschiedlichen Einbindungsphasen von vorgefertigten Modulen und Modulsegmenten in den Prozess des Finalproduzenten ermöglichte eine strukturierte Planung der logistischen und zeitlichen Prozesse innerhalb des Wertschöpfungsprozesses.

Zusätzlich zu den entwickelten Montagetechnologien nutzt das Vorhaben das webbasierte Managementtool, das im Zuge der Projektes beim Fraunhofer Anwendungszentrum entwi-

ckelt worden ist. Dadurch wird jeder am Projekt beteiligte Akteur zu jedem Zeitpunkt des Projektes, beginnend bei der Konstruktion, in die Lage versetzt, zu erkennen, welchen Fortschritt das Projekt hat und welcher Akteur mit welcher Tätigkeit gerade am Projekt arbeitet.

Bei der Analyse und Optimierung der entwickelten Montagetechnologien unter Berücksichtigung der Schnittstellen zum Verbundvorhaben sind unter Einbeziehung aller am Vorhaben beteiligten Akteure die unterschiedlichen Sequenzen eines ausgewählten Moduls simuliert und erprobt worden.

Problembehaftet waren die geometrischen Daten aus den CAD-Systemen der Projektierungen des Finalproduzenten, vorwiegend verursacht durch fehlende Informationen des Änderungsindex der Konstruktionsdaten.

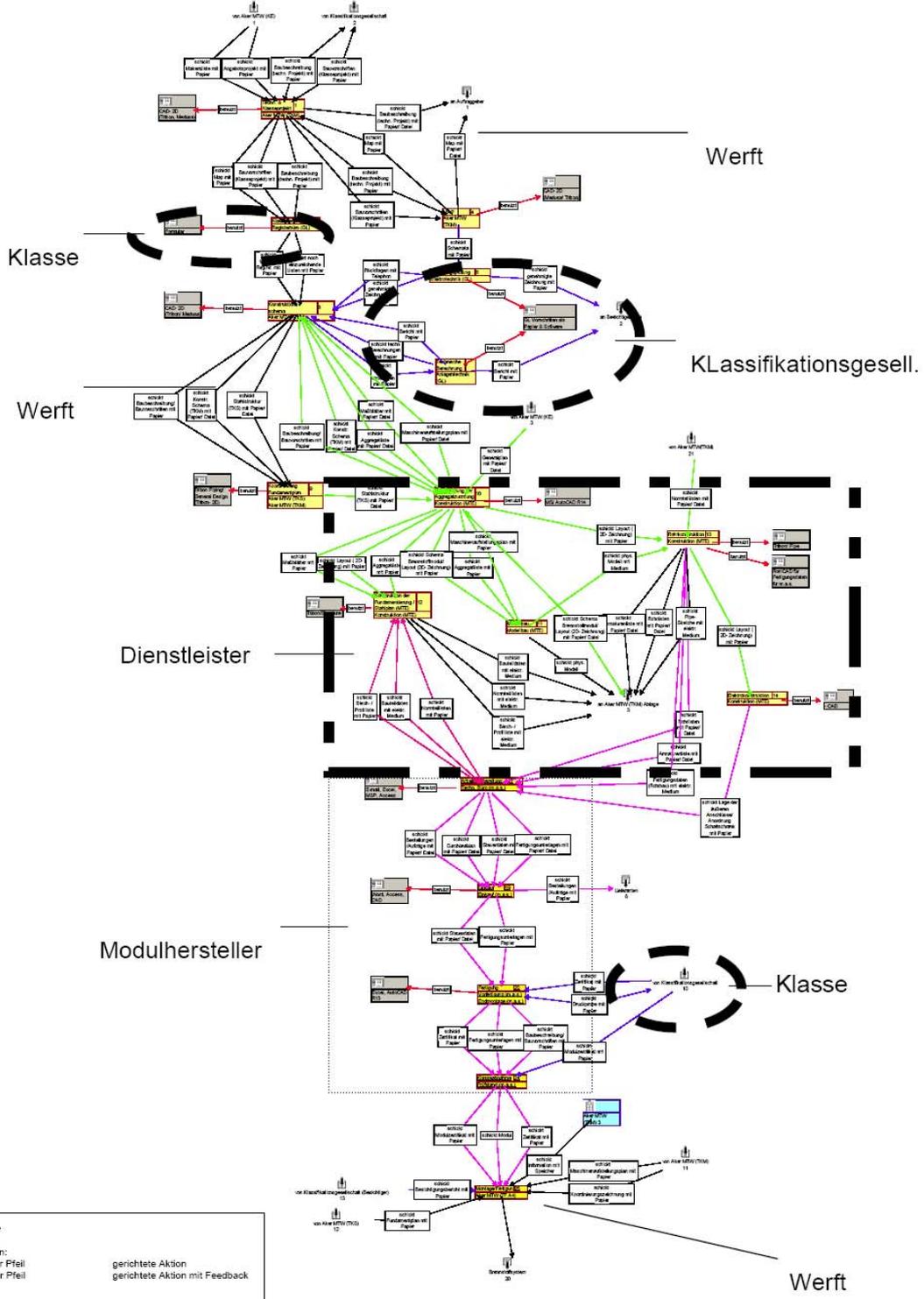
Aus diesen Erfahrungen ist der Änderungsdienst in das webbasierte Managementtool integriert worden.

## 1.5 Ergebnisse des AP 5

Aufbauend auf den Ergebnissen des AP 4 erfolgte die Optimierung der Montageprozesse an den Bedürfnissen der Baumethodiken der Finalproduzenten.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer Anwendungszentrum wurde, aufbauend auf den Erfahrungen und den Untersuchungsergebnissen des SAB Barth GmbH, folgendes Prozessmodell zur Modulfertigung bei verteilter Entwicklung und Herstellung entwickelt:

# Prozeßmodell - Modulfertigung



Es wird dabei deutlich, dass zahlreiche Schnittstellen innerhalb der Logistikkette zwischen Modulhersteller und Finalproduzenten vorhanden sind. Neben der Fragestellung, zu welchem Zeitpunkt und vor allem an welchem Ort die Abnahme durch die Klassifikationsgesellschaft erfolgen wird, musste auch die Systematik der Fertigungs- und Montageorte abschließend erörtert werden.

Für die, beim Forschungsvorhaben, zu betrachtenden Module sind zur Entwicklung von Montagekonzepten folgende Module untersucht worden:

- NT-Kühlermodul (Funktionalmodul)
- Ballastwasserpumpenblock (Regionalmodul)
- Maschinenraumzwischendeck (Großmodul)

#### NT-Kühlermodul

Das NT-Kühlermodul ist ein für sich geschlossenes System innerhalb des komplexen Schiffsmaschinenbetriebes. Alle Ausrüstungsteile, Pumpen, Wärmetauscher, Ventile und Steuerungsanlagen befinden sich auf einem gemeinsamen Fundament.

Unter Beachtung der konstruktiven Ausführungen ist dieses Funktionalmodul komplett beim externen Modulfertiger zu realisieren. Dies beinhaltet neben der Fertigung und Montage auch die Konservierung und den Transport zum Finalproduzenten. Eine verteilte Fertigung und Montage innerhalb der virtuellen Modulfabrik entfällt bei diesem Funktionalmodul.

Die nachfolgenden Seiten geben einen Überblick über das Modul, seine konstruktiven und gestalterischen Merkmale.

## NT-Kühlermodul

## Ballastwasserpumpenblock

Der Ballastwasserpumpenblock ist ein Typenvertreter für sogenannte Regionalmodule. Das Modul ist quer zum vorderen Maschinenraumschott angeordnet und versorgt im Gegenteil zum Funktionalmodul mehrere Verbraucher innerhalb des komplexen Schiffsmaschinenbetriebs. Eine vollständige Fertigung des Moduls beim externen Fertigungspartner ist nur bedingt möglich. Restriktionen stellen hier die logistischen Konzeptionen. Untersucht wurden verschiedene Varianten der Fertigung und Montage. Die wirtschaftlich sinnvollste Lösung ist die sequentielle Fertigung und Montage der einzelnen Elemente des Moduls. Eine durchgängige Herstellung des Moduls beim externen Fertigungspartner, im Fall der Untersuchung die SAB Barth GmbH, war zwar möglich, aber der Transport zum Finalproduzenten ließ eine wirtschaftliche Lösung scheitern. Die Transportkosten vereinnahmten ca. 25% der Gesamtherstellkosten des ausgewählten Moduls. Diese Lösung wurde verworfen.

In Anlehnung an die Baumethodik des Finalproduzenten werden Fundamente und Stützkonstruktionen des Moduls beim externen Fertiger separat gefertigt und dem Finalproduzenten zum Einbau in den Maschinenraum zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Rohrstränge werden nach vorliegenden Isometrien gefertigt und ohne Anpassungen fertiggestellt. Dabei sind die hohen Anforderungen an die Fertigungsgenauigkeit einzuhalten, da es sich bei dieser Fertigungs- und Montagetechnologie nicht vermeiden lässt, die Anzahl der sogenannten Typ II-Rohre (Passrohre) zu erhöhen, um zur Montage vor Ort beim Finalproduzenten zeitlich aufwendige Anpassungsarbeiten zu verringern. Die Fertigungsbedingungen beim externen Modulfertiger sind diesen Anforderungen anzupassen und zusätzliche 3D-Meßeinrichtungen für Passrohre in den Fertigungsprozess zu integrieren.

Die nachfolgenden Seiten geben einen Überblick über das Modul, seine konstruktiven und gestalterischen Merkmale.

## Ballastwasserpumpenblock

## Maschinenraumzwischenendeck

Dieses Modul ist ein typischer Vertreter eines Großmoduls, die bisher nur direkt beim Finalproduzenten gefertigt worden sind. Das Modul erstreckt sich über 2 Maschinenraumdecks und fasst mehrere funktionale Einheiten innerhalb des Maschinenraumes zusammen. Zusätzlich zu den funktionalen Aufgaben erfüllt dieses Großmodul tragende Funktionen innerhalb des Schiffsverbandes und der schiffsmaschinenbaulichen Strukturen.

Eine vollständige Fertigung dieses Großmoduls beim externen Fertiger ist ausgeschlossen, da die zu bewegenden Massen nur durch den Finalproduzenten zu realisieren sind. Neben der technischen Realisation bedarf die wirtschaftliche Betrachtung zur Fertigung und Montage dieses Moduls besonders Augenmerk. Dabei wurden die Gestehungskosten beim Finalproduzenten untersucht und den möglichen Kosten zur teilweisen Fertigung beim externen Fertiger gegenübergestellt. Es wurde festgestellt, dass die stahlbaulichen Elemente des Großmoduls beim externen Fertiger nicht den gleichen wirtschaftlichen Nutzen haben werden wie eine stahlbauliche Fertigung beim Finalproduzenten. Die daraus abgeleitete Methodik sieht vor, die innerhalb des Großmoduls angeordneten funktionalen Einheiten wie Funktionalmodule zu betrachten und zu bewerten. Die verteilte Fertigung erfolgt dann nach dem Muster der entwickelten Methodik zur Fertigung von Funktionalmodulen. Hierbei erfolgt dann das Splitting innerhalb des Großmoduls. Zusätzlich zur Methodik der Funktionalmodulfertigung sind Teile der Methodik zur Regionalmodulfertigung zu integrieren, da die Verbindungen innerhalb des Großmoduls aufgrund der verteilten Fertigung eine erhöhte Anzahl an Passrohren erfordert, die die einzelnen funktionalen Einheiten miteinander verbinden. Somit definiert sich die Methodik zur Fertigung und Montage von Großmodulen durch ein komplexes Zusammenspiel zwischen der Methodik zur Fertigung und Montage von Funktionalmodulen und Regionalmodulen.

Die nachfolgenden Seiten geben einen Überblick über das Modul, seine konstruktiven und gestalterischen Merkmale.

## Maschinenraumzwischendeck

## **2 voraussichtlicher Nutzen**

Innerhalb des Projektes wurde mit den Partnern des Forschungsvorhabens eine gemeinsame Plattform zur verteilten Fertigung und Montage von Modulen unterschiedlichster Varianten und Einsatzmöglichkeiten entwickelt, die es zukünftig ermöglicht, modulare Einheiten zur Realisierung verschiedenster Aufgaben innerhalb des komplexen Schiffsmaschinenbetriebes, zu fertigen und zu montieren.

Im Zusammenspiel unterschiedlichster partizipierender Partner ist ein virtuelles System geschaffen worden, welches es ermöglicht unternehmensübergreifend und unter Nutzung der jeweiligen Einzelkompetenz der beteiligten Partner, modulare Baugruppen für den Schiffbau zu liefern.

Signifikant dabei ist, dass durch eine durchgängige Methodik die Lücke zwischen den Engineering - Partnern des Vorhabens und den Fertigungspartnern geschlossen werden konnte. Diese Methodik ist einzigartig und bündelt die Kernkompetenzen der Unternehmen der maritimen Zulieferfirmen in einem Netzwerk. Die Ergebnisse der virtuellen Modulfabrik sind ein Initiator in Mecklenburg-Vorpommern den hohen Standard der maritimen Zulieferprodukte weiter zu erhöhen. Dies wird durch die Integration angrenzender Produkte das exportgetriebene nationale Wachstum mit unterstützen. Für die Region wurde gezeigt, dass durch die Integration und Bündelung unterschiedlichster Kompetenzen regionaler KMU, leistungsfähige Verbünde geschaffen werden können um die gestiegenen Anforderungen an die Produktkomplexität zu erfüllen.

## **3 Paralleler Fortschritt anderer Stellen auf dem Forschungsgebiet**

Die im nationalen Bereich existierenden Lösungen von virtuellen Fabriken besitzen nach unseren Informationen einen anderen Arbeitsschwerpunkt. Der Arbeitsschwerpunkt bezieht sich auf die von einem Initiator gesteuerten und geführten Prozesse zur Einkaufskoordinierung von externen Leistungen. Die aktive Zusammenarbeit unterschiedlicher, partizipierender Partner und die offene Gestaltung der Schnittstellen unter- und zueinander ist nach unserer Auffassung bisher noch nicht Gegenstand von Forschungsvorhaben innerhalb Deutschlands.

#### **4 Veröffentlichung der Ergebnisse**

Eine Veröffentlichung der Forschungsergebnisse dieses Forschungsvorhabens liegt nicht im Verantwortungsbereich des Teilprojektbearbeiters SAB Barth GmbH.