

# ABSCHLUSSBERICHT

# GENESIM GENERISCHES DATEN- UND MODELLMANAGEMENT FÜR DIE SCHIFFBAULICHE PRODUKTIONSSIMULATION

**Förderkennzeichen 03SX274A**

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding

Dr.-Ing. Axel Friedewald

Dr.-Ing. Lars Arne Wagner

Dipl.-Ing. Robert Wandt

2. April 2012

## Inhaltsverzeichnis

Einführung.....	5
1 Datenstrukturierung.....	8
1.1 Entwicklung eines generischen Simulationsdatenmodells.....	8
1.1.1 Workshops zur Definition von Simulationsdatenanforderungen .....	8
1.1.2 Entwurf eines Handbuchs für Modellierungskonventionen des Datenmodells.....	9
1.1.3 Modellierung eines generischen Simulationsdatenmodells.....	12
1.2 Änderungs- und Erweiterungskonzepte für die Datenstruktur .....	22
1.2.1 Entwurf von modularen Datenstrukturelementen zur Änderung .....	23
1.2.2 Definition eines standardisierten Geschäftsprozesses zur Änderung der Datenstruktur.....	23
2 Daten- und Modellverwaltung.....	27
2.1 Verwaltungskonzept für Simulationsmodelle .....	27
2.2 Verwaltungskonzept für Simulationsdaten .....	27
2.3 Exportstrategien für ERP-Systeme .....	27
2.3.1 Entwicklung von Referenzmodellen für den Simulationsdatenexport in die ERP-Systeme.....	28
2.3.2 Entwicklung von Exportstrategien der Simulationsdaten in die ERP-Systeme.....	28
3 Konzepte zur Datenbeschaffung.....	29
3.1 Entwicklung von Importstrategien.....	29
3.1.1 Strukturierung der Datenquellen für die Simulation .....	29
3.1.2 Entwurf von Strategien zur Datenaufbereitung für die Simulation.....	29
3.2 Entwicklung von Methoden zur Datengenerierung .....	30
3.3 Entwurf von Datengeneratoren .....	30
4 Ergebnisdaten und Auswertungen der Produktionssimulation.....	31
4.1 Definition von Standardauswertungen und Kennzahlen.....	31
4.2 Modularisierung von Auswertungen und Kennzahlenermittlung.....	32
5 Validierung und Verifikation.....	33
5.1 Definition von Methoden zur Datenvalidierung .....	33
5.1.1 Formulierung von Datenvaliditätskriterien.....	33
5.2 Entwicklung von Verfahren zur Modellverifikation .....	45
5.3 Entwurf von Methoden zur Modellvalidierung.....	45

5.3.1	Definition der erforderlichen Modellvalidität.....	45
6	Adaption der Szenariotechnik.....	48
6.1	Vergleich von Simulationsszenarien.....	49
6.1.1	Definition von Szenarioklassen und deren Systematik.....	49
6.1.2	Entwurf von Auswertungen und Kennzahlen zum Vergleich von Szenarien ... .....	52
6.2	Konzeption von Templates zur Bildung von Szenarien.....	54
6.2.1	Definition von Vorgehenstemplates zur Szenariobildung .....	57
6.2.2	Entwicklung von Regeln zur Erzeugung von konsistenten Simulations- datenszenarien .....	59
6.2.3	Entwurf einer Fuzzy-basierten Methode zur Beschreibung von Szenarien	61
6.3	Konzeption von Robustszenarien zur Validierung und Absicherung der Planungsergebnisse .....	71
6.4	Zusammenfassende Betrachtung der Szenariosimulation.....	74
7	Verifizierung in komplexen Ausrüstungs- und Stahlbaubereichen .....	76
7.1	Definition von Verifikationskriterien in der Anwendung.....	76
7.2	Definition von Referenz-Szenarien.....	76
8	Voraussichtlicher Nutzen .....	79
8.1	Wissenschaftliche Verwertung / Anschlussfähigkeit .....	79
8.2	Wirtschaftliche Verwertung .....	79
9	Während der Durchführung bei anderen Stellen bekannt gewordene Fortschritte ....	80
10	Veröffentlichungen.....	80
11	Literaturverzeichnis .....	81

## Einführung

Der steigende Wettbewerbsdruck im weltweiten Schiffbau erzwingt weitere Kostensenkungen und Produktivitätssteigerungen im deutschen Schiffbau. Soll gleichzeitig die Planungssicherheit erhöht werden, stellt dies im Schiffbau besonders hohe Anforderungen an die Produktionsplanung. Die Komplexität in den Abhängigkeiten zwischen dem Produkt mit seiner enormen Teilevielfalt, den vielfältigen und aufwendigen Produktionsprozessen und dem Ressourcengefüge auf einer Werft bzw. bei den Zulieferern machen neue Planungswerkzeuge unabdingbar.

Die Simulation als Unterstützungswerkzeug für die Planung ermöglicht eine vorausschauende Bewertung von Alternativen zur Produktivitätssteigerung sowie eine Erhöhung der Planungssicherheit. Der heutige Stand des Simulationseinsatzes im Schiffbau beruht auf einer kontinuierlichen Entwicklung, der auch mit verschiedenen Vorgängerprojekten erreicht wurde. So wurden im Projekt SimBA schiffbauspezifische Bausteine für die Simulationssoftware entwickelt. Im Projekt SimGO wurde die Leistungsfähigkeit des Simulationswerkzeugs durch die Kopplung mit Optimierungsalgorithmen erhöht.

Das Modellieren von schiffbaulichen Produktionsprozessen konnte durch die Ergebnisse der genannten Projekte deutlich verkürzt werden. Dennoch müssen sowohl der Simulationsexperte in der Modellierungsphase als auch der Simulant in der Analysephase viel Zeit auf die Datenbeschaffung, Aufbereitung und Auswertung verwenden. Deshalb hatte das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags geförderte Projekt GeneSim (Generisches Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionssimulation) das Ziel, diesen Aufwand zu verringern und den Einsatz der Simulation weiter zu vereinfachen. Nur auf diesem Weg kann einerseits das Analysepotenzial der Simulation genutzt werden und das teilweise bestehenden Misstrauen gegenüber dem Aufwand zur Modellbildung und Modellanalyse abgebaut werden. Als Hauptproblem in der bestehenden Anwendung der Simulation wurde das Datenmanagement mit den folgenden Teilproblemen identifiziert:

1. Der Engineeringprozess für ein Schiff ist langwierig und umfangreich. Aus diesem Grund werden die verschiedenen Phasen der Produktentwicklung und Produktion noch stärker parallelisiert, als das in anderen Branchen üblich ist. Dieses Vorgehen führt jedoch dazu, dass viele Simulationseingangsdaten auf den Werften in den einzelnen Planungsphasen noch nicht verfügbar sind und manuell erzeugt werden müssen.
2. Um der Problemstellung aus 1. zu begegnen, versucht man, Daten aus älteren Projekten zu nutzen oder Daten zu generieren. Generatoren für Produktdaten sind aber nicht vorhanden, weshalb die Daten in manuellen Prozessen mit hohem Zeitaufwand erzeugt werden müssen. Die so erzeugten Daten sind anschließend meist nur für eine Problemstellung nutzbar.
3. Da Daten aus verschiedenen Datenquellen aggregiert werden und die Anforderungen und der Bedarf an Daten aus den mit der Zeit gewachsenen Strukturen in der Simulation resultieren, existiert keine generische Simulationsdatenstruktur. Verstärkt wird dieser Effekt durch werftspezifische Daten und Informationsstrukturen. Deshalb musste jede Werft bisher eine eigene Datenstruktur entwickeln. Diese wie-

- derum ist nur schwierig und mit zusätzlichem Aufwand mit einem standardisierten Simulationsbausteinkasten zu verbinden.
4. Häufig besteht die Aufgabe, verschiedene Szenarien der Produktrealisierung zu untersuchen und zu beurteilen. Die Szenariobildung aus Daten unterschiedlicher Herkunft oder unterschiedlichen Reifegrades ist jedoch nicht möglich. Hierdurch bleibt umfangreiches Analysepotenzial in der Simulation ungenutzt.
  5. Neben der Bildung von Szenarien ist auch der Vergleich dieser bzw. die Analyse der Simulationsergebnisse nur mit großem manuellem Aufwand zu realisieren. Es fehlen vor allem Auswertemethoden und Vergleichskennzahlen für Simulationsergebnisse.
  6. Häufig besteht ein großes Misstrauen gegenüber Aussagen, die mit der Simulation ermittelt werden. Ein wichtiger Grund hierfür ist die Simulation mit falschen oder unvollständigen Daten. Aus diesem Grund muss die Plausibilität von Simulationsergebnissen sichergestellt werden. Hierfür fehlt es jedoch an Methoden, die einerseits die Eingangsdaten für die Modellerstellung und andererseits die Daten zur Durchführung von Simulationsversuchen evaluieren und deren Korrektheit sicherstellen.
  7. Die existierenden Werkzeuge zum Daten- und Modellmanagement bieten aufgrund ihrer gewachsenen Datenstruktur und ungeeigneter Software eine ungenügende Performance.
  8. Verschiedene Szenarien der Simulation ergeben sich aus unterschiedlichen Ausgangszuständen. Diese Ausgangszustände, die der Simulationsexperte beispielsweise über die genutzten Eingangsdaten einstellt, sind in verschiedenen Versionen zu speichern, um den Aufwand für die Erzeugung solcher Szenarien zu verringern. Bisher lassen sich verschiedene Versionen von Eingangsdaten jedoch nicht archivieren.
  9. Der stark parallele Prozess der Produktentwicklung und Produktion führt zu einer Vielzahl von Produktvarianten. Die Datenunsicherheit von diesen kann bisher nicht bewertet werden. Datenunsicherheit beschreibt, wie sicher korrekte Werte für einen Sachverhalt bestimmt oder gewählt werden konnte. Dies erschwert die Modellierung, da der notwendige Abstraktionsgrad für die Modellerstellung nur schwer abzuschätzen ist. Für den Simulationsanwender wird die Auswertung der Simulationsergebnisse unnötig durch diese Randbedingung erschwert.

Für das Forschungsprojekt ergab sich somit die Aufgabe, die Einzelprobleme zu lösen und die Teillösungen in einem zielgerichteten Vorgehen zu vereinigen. Zunächst sollen diese Fragen klar formuliert werden. In den Abschnitten 1 bis 7 werden die Fragestellungen dann detailliert beantwortet.

### 1 Datenstrukturierung

Das erste Teilproblem führt zu der Frage, wie sich verschiedene Datenbestände strukturieren lassen um sie später in Szenarien zusammenzuführen und zu verwalten, so dass das Spektrum der Simulationsuntersuchungen erweitert wird und der Nutzen der Simulation weiter gesteigert werden kann.

### 2 Daten und Modellverwaltung

Das dritte Teilproblem resultiert in den Fragen, wie eine generische Datenstruktur formuliert werden kann, welche Anforderungen an diese Datenstruktur bestehen und inwieweit sie flexibel zu halten ist, um einem möglichst großen Anwenderkreis zugänglich zu sein. Außerdem ergibt sich die Frage nach dem Anpassungsvorgehen für die generi-

sche Datenstruktur. Hiermit ist einerseits die erstmalige Anpassung des allgemeinen Modells an die Spezifika der Werft gemeint. Andererseits betrifft es die Anpassung im Verlauf der Anwendung, die aus geänderten Nutzungsanforderungen resultiert.

### 3 Konzepte zur Datenbeschaffung

Für das zweite Teilproblem besteht die Frage, wie sich Generatoren für den fehlenden Datenbestand erzeugen lassen, wie man die so erzeugten Daten der Simulation zur Verfügung stellt und auf welche Weise sie valide gehalten werden. Dies ist besonders dann relevant, wenn mit dem Fortschritt des Produktionsprozesses die generierten Daten obsolet werden und durch erzeugte Daten ersetzt werden können.

### 4 Ergebnisdaten und Auswertungen der Produktsimulation

Im vierten Teilproblem ergibt sich die Frage wie sich verschiedene Simulationsergebnisse vergleichen lassen. Diese Fragestellung für vom fünften Teilproblem erweitert auf den Vergleich verschiedener Szenarien. Bisher war es nur mit viel Aufwand möglich, unterschiedliche Alternativen zu vergleichen. Wie sich dieser Mangel abstellen lässt und gleichzeitig für die Untersuchung verschiedene Daten unterschiedlicher Reifegrade verwenden lassen, ist Gegenstand des vierten Abschnitts.

### 5 Validierung und Verifikation

Die Validität der Daten und Simulationsergebnisse möglichst einfach sicherzustellen und wie sie auf neue Anwendungen übertragen werden kann ist die sechste Frage. Hierbei bauen Daten-, Modell- und Ergebnisvalidität aufeinander auf. Die Aufgabenstellung muss somit erweitert werden auf eine ganzheitliche Betrachtung der Simulationswelt und kann nicht nur die Problematik von validen Daten oder validen Simulationsmodellen behandeln.

### 6 Adaption der Szenariotechnik

Mit Frage 7 wird nach einem Weg gesucht, wie sich eine akzeptable Performance bei der Anwendung der Simulation im Umfeld der schiffbaulichen Planung realisieren lässt. Hierfür zeigt das Szenariokonzept neue Wege auf und schafft mit dem generischen Datenmodell die notwendigen Voraussetzungen für eine Performancesteigerung.

Die letzten beiden Fragen, mit denen sich das Forschungsprojekt beschäftigt, sind diejenigen, wie sich verschiedene Versionen von Eingangsdaten verwalten lassen und auf welche Weise sich die Unsicherheit von Daten durch unterschiedliche Produktvarianten bewerten lässt. Auch hierauf gibt das Szenariokonzept eine Antwort.

### 7 Verifizierung in komplexen Ausrüstungs- und Stahlbaubereichen

Der siebte Abschnitt beschreibt die Evaluierung der Forschungsergebnisse anhand realer Szenarien der Werften. Die einzelnen zuvor beantworteten Fragen werden hier in einem ganzheitlichen Konzept noch einmal betrachtet.

# 1 Datenstrukturierung

Die für die Produktionssimulation notwendigen Informationen wie technische Daten, Produkt- und Planungsdaten sowie Daten über die Ressourcenstrukturen müssen für einen systematischen Zugriff in einer Datenbank gespeichert werden. Um alle Informationsanforderungen berücksichtigen zu können, wurde zu diesem Zweck als AP1 die Entwicklung einer generischen Datenstruktur vorgesehen. Mit Hilfe der Datenstruktur lässt sich eine Datenbank erzeugen, in der technische Daten, Systemlastdaten sowie Organisationsdaten gespeichert werden.

Die Entwicklung der Datenstruktur erfolgte in den zwei Hauptschritten:

- Entwicklung des generischen Simulationsdatenmodells und
- Änderungs- und Erweiterungskonzept für die Datenstruktur.

Der erste Hauptschritt begann mit der Definition von Simulationsdatenanforderungen (1.1.1). Die Anforderungen an das Datenmodell haben die beteiligten Projektpartner Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (FSG), Friedrich Lürssen Werft GmbH & Co. KG (FLW), Howaldtswerke - Deutsche Werft GmbH (HDW), Center of Maritime Technologies e.V. und das Institut für Produktionsmanagement und -technik (IPMT) innerhalb von Workshops erarbeitet. Anschließend hat das Institut für Produktionsmanagement und -technik der TUHH (IPMT) ein Handbuch mit den notwendigen Modellierungskonventionen erstellt (1.1.2). Auf Basis der erarbeiteten Anforderungen und unter Beachtung des Modellierungshandbuchs ist anschließend das generische Simulationsdatenmodell (1.1.3) entwickelt worden.

## 1.1 Entwicklung eines generischen Simulationsdatenmodells

Das entwickelte generische Simulationsdatenmodell muss in der Lage sein, Daten verschiedener Themengebiete zu speichern. Die Themengebiete sind technische Daten, Systemlastdaten sowie organisatorische Daten. Detailliert werden die Anforderungen an die Themengebiete im Abschnitt 1.1.1 von den Projektpartnern beschrieben. Die Beschreibungsmethode und die Modellierungskonventionen werden in Abschnitt 1.1.2 vorgestellt. Abgeschlossen wird der Abschnitt *Entwicklung eines generischen Simulationsdatenmodells* durch die Beschreibung des entstandenen Modells (Abschnitt 1.1.3).

### 1.1.1 Workshops zur Definition von Simulationsdatenanforderungen

Die Anforderungen an das Datenmodell lassen sich vor allem aus den geplanten Anwendungsbereichen der schiffbaulichen Produktionsbereiche ableiten. Darüber hinaus erlaubt die Auswertung bisheriger Simulationseinsätze die Definition ergänzender Anforderungen. Entsprechend der thematischen Schwerpunkte und Erfahrungen der Partner konnten so unterschiedliche Anforderungsbereiche abgedeckt werden:

Der Projektpartner FSG definierte Anforderungen zum Themengebiet der effizienten Daten- und Modellhandhabung. Außerdem erarbeitete die FSG diejenigen Anforderungen, die sich aus der Steuerung des Schiffseinrichtungsprozesses ergeben. Der Projektpartner FLW definierte Anforderungen, die sich aus dem Stahlbau der Werft ergeben. Im Vordergrund steht Notwendigkeit, die Stahlstruktur mit dem Datenmodell abbilden zu können. Der Projektpartner HDW definierte die Anforderungen der Schiffsausrüstung. Zur Ausrüstung gehören Verrohrungen und Anlagenelemente, die für den Schiffsbetrieb

notwendig sind. Diese stellen von der Stahlstruktur abweichende Anforderungen an das Datenmodell. Der Projektpartner CMT definierte die Anforderungen, die sich aus der Integration von Zulieferbeziehungen in ein Simulationsmodell ergeben. Vom CMT wird die Simulation auch als Dienstleistung für maritime Unternehmen angeboten. Die sich heraus ergebenden Anforderungen wurden ebenfalls durch das CMT definiert. Die detaillierten Anforderungen an das Simulationsdatenmodell dokumentieren die Projektpartner in den jeweiligen Abschlussberichten innerhalb der folgenden Kapitel:

- 1.1.1.1 Anforderungen zur Effizienz und Schiffseinrichtung
- 1.1.1.2 Anforderungen zum Stahlbau
- 1.1.1.3 Anforderungen zur Schiffsausrüstung
- 1.1.1.4 Anforderungen zu Zulieferbeziehungen und Dienstleistungen

### **1.1.2 Entwurf eines Handbuchs für Modellierungskonventionen des Datenmodells**

Das Modellierungshandbuch soll gewährleisten, dass alle Partner die von ihnen verantworteten Teile des Datenmodells nach den gleichen Konventionen erstellen (1.1.3). Dies soll sicherstellen, dass eine unternehmensübergreifende Nutzung entsprechend den Grundsätzen ordnungsmäßiger Modellierung [1] gewährleistet wird.

#### 1.1.2.1 Modellierungsumfeld

Für das Modellierungsumfeld entschieden sich die Projektpartner nach intensiven Diskussionen für die Sprache Englisch und die Modellierungssoftware ARIS (Version 7.1). ARIS wird seit vielen Jahren vom IPMT und weiteren Projektpartnern (z.B. FSG) verwendet, um Strukturen und Prozesse zu modellieren.

Die Projektpartner begrenzten die zu erfassenden Daten auf alle Informationen, die für die Erstellung, Parametrierung, Simulation sowie die Auswertung und Archivierung benötigt werden. Datenquellen und Schnittstellen zu den entsprechenden Datenquellen der Anwender wurden nicht definiert. Es wird somit vorausgesetzt, dass sich der jeweilige Anwender selbst um die Bereitstellung der Daten bemüht.

Das vom IPMT erstellte Datenmodell beschreibt die Struktur der Daten und ihre Verknüpfung. Auf Basis dieser Struktur wurde anschließend das Datenbankmodell entwickelt. Das Datenmodell beschreibt somit nicht direkt Nutzdaten, sondern die Tabellenstruktur und deren Verknüpfung untereinander. Die Modellierung des nutzbaren und adaptierbaren Datenmodells wurde mit MySQL ausgeführt und ist in Abschnitt 2 beschrieben.

Durch die definierten Systemgrenzen wurden vom IPMT in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern vier Datenbereiche identifiziert, die durch das Datenmodell abgedeckt werden müssen. Diese sind:

- Eingangsdaten
- Ergebnisdaten
- Modelldaten
- Szenariodaten

*Eingangsdaten* bilden die Simulationsdatenbasis entsprechend der VDI Richtlinie 3633 [2]. Unter diesem Begriff fassen die Projektpartner die Systemlastdaten, technische Da-

ten sowie organisatorische Daten zusammen [3]. Systemlastdaten sind Informationen, die für die Simulation von Fertigungsaufträgen benötigt werden. Im Fall von Bauteilen können das z. B. Dimensionen, Stücklisten, Verknüpfungen mit umgebenden Bauteilen oder Bedingungen der Montage/Fertigung sein. Für Fertigungs- oder Montageaufträge sind Termine, Auftragsabfolgen sowie Randbedingungen für die Auftragsdurchführung typische Beispiele. Technische Daten beschreiben das Layout der Werft (z.B. Wege und Bauplätze), der Logistiksysteme (z.B. Geschwindigkeit und Förderkapazitäten), Fertigungsdaten (z. B. Zeiten und Kapazitäten der Maschinen und Anlagen) sowie Stördaten der Systeme der Werft. Organisatorische Daten beschreiben Arbeitszeitregelungen (Schichtsystem, Pausenregelungen) vorhandenes Personal sowie die Ablauforganisation innerhalb der Werft.

Als *Ergebnisdaten* wollen die Projektpartner die Simulationsergebnisse ablegen. Typische Elemente sind hier Termine, Auslastungsgrade von Anlagen und Bauplätzen sowie die zugeordneten Personalkapazitäten. Erweitert wird dieser Datenbestand durch Informationen über das verwendete Simulationsmodell. Die Verbindung zwischen den Eingangsdaten, dem Simulationsmodell mit seiner Parametrierung sowie den Ergebnisdaten darf nicht verloren gehen. Abgesichert wird dies im Datenmodell durch die Szenarienverwaltung.

*Modelle* beschreiben die Ressourcenstruktur der Werft. Im Datenbereich Modelle lassen sich verschiedene Teilmodelle miteinander und mit übergeordneten Modellen verknüpfen. Außerdem können die Modelle durch Zusatzinformationen (Metadaten) ergänzt werden. Hierzu gehören Bedingungen und Parameter, die bei der Modellbildung verwendet wurden. Dies ist wichtig, um Modelle mehrfach verwenden zu können. Der Datenbereich Modell ermöglicht eine Versionsverwaltung für die Simulationsmodelle.

In einem *Szenario* speichern die Projektpartner Simulationsmodelle mit Eingangs- und Ergebnisdaten sowie das Simulationsmodell. Außerdem speichern sie im Szenario Metainformationen zum Simulationsexperiment. Hierzu gehören Modellparameter, Vereinfachungen in der Modellbildung sowie sonstige Besonderheiten des Szenarios.

Mit den erarbeiteten Datenbereichen können die Projektpartner verschiedenste Simulationsdaten für Experimente speichern und verschiedenen Simulationen zur Verfügung stellen.

#### 1.1.2.2 Konvention für die Beschreibung und Versionierung eines Datenmodells

Ziel des Projekts GeneSim ist die Entwicklung eines generischen Simulationsdatenmodells. Da das Modell jedoch stetig weiterentwickelt wird und trotz des generischen Aufbaus fallspezifische Anpassungen nötig sein können, müssen die Modelle identifizierbar gemacht werden. Dies ermöglichen standardisierte Attribute. Die Projektpartner beschreiben ein Datenmodell anhand der in Tabelle 1 zusammengefassten Attribute. Ziel der Beschreibung ist es Datenmodelle leicht zu finden und Spezifika eines Modells aus diesen Metadaten ableiten zu können.

**Tabelle 1: Attribute zur Beschreibung eines Datenmodells**

Attributname	Beschreibung	Bemerkung
Name	Modellbezeichnung	
Identifizierer	Projektzuordnung	
Beschreibung/Definition	Kurzbeschreibung des Modells	
Verfasser	Modellverantwortlicher	
Letzte Änderung	Datum	
Versionsnummer	Versionsnummer	
Ersteller	Ersteller des Modells	
Erstellzeitpunkt	Datum	
Status	Aktueller Stand	Unter Modellstatus

Um Entwicklungsstand und -historie sowie spezielle abgeleitete Varianten der Modelle dokumentieren zu können, wird zusätzlich die Versionierung eingeführt. Die Projektpartner versionieren Modelle mit einer dreistelligen Nummer (1.0.0). Die Hauptversionsnummer vergibt der Administrator des Datenmodells. Eine neue Hauptversionsnummer vergibt der Administrator nur, wenn deutliche Änderungen am Modell erfolgt sind und dies alle Projektpartner nutzen wollen. Anhand der zweiten Stelle unterscheiden die Projektteilnehmer verschiedene Varianten eines Modells. Diese Varianten enthalten beispielsweise unternehmensspezifische Aspekte. Solche Varianten erweitern den Bestand an Modellen und können von allen Projektpartnern genutzt werden. Änderungen an lokalen Versionen des Datenmodells versionieren die Projektpartner mit der letzten Stelle der Versionsnummer.

### 1.1.2.3 Modelltypen

Die Modellierungsumgebung ARIS bietet verschiedene Modelltypen. Für die Modellierung des Datenmodells verwenden die Projektpartner das eERM (erweitertes Entity-Relationship-Modell).

Das eERM stellt Entitätstypen (Entitytyp), Relationen, erweiterte Relationen, Attribute, Attributgruppen, sowie Generalisierungstypen zur Verfügung. Entitäten verwenden die Projektpartner, um Datengruppen zu beschreiben, in denen Informationen gespeichert werden. Mit Relationen modellieren sie die Verknüpfungen zwischen diesen Datengruppen. Attribute und Attributgruppen verwenden die Projektpartner, um Platzhalter für reale Informationen zu modellieren. Entsprechend der Platzhalter erstellt der Datenbankprogrammierer im Datenbankmodell Tabellen, in denen die detaillierten Informationen gespeichert werden können.

### 1.1.2.4 Glossar

Viele Begriffe im Schiffbau sind lokal geprägt. Dies erschwert die Kommunikation zwischen den Werften. Teilweise sind gleiche Begriffe mit unterschiedlichen Inhalten be-

legt. Um Missverständnisse zu vermeiden und eine einheitliche Kommunikationsbasis für die Datenmodellbildung zur Verfügung zu stellen, sammelten die Projektpartner diese Begriffe in einem Glossar. Neben dem deutschen Begriff enthält das Glossar:

- den englischen Begriff
- eine deutsche Begriffserklärung
- eine englische Begriffserklärung

Wenn der Begriff ein spezifisches Merkmal im Datenmodell beschreibt oder ein Element des Datenmodells ist, dokumentierten die Projektpartner dies ebenfalls im Glossar (vgl. Abbildung 1).

Begriff (GENESIM)	Erklärung (Deutsch)	Beispiele	Term (English)
Aktivität	s. Planungsvorgang		Activity
Anordnungsbeziehung	Abfolgebedingung zwischen Aktivitäten/ Vorgängen	Aktivität A kann erst starten, wenn Aktivität B abgeschlossen ist	relationship
Arbeitspaket	GENESIM: s. Planungsvorgang HDW: das Arbeitspaket besteht aus mehreren Planungsvorgängen;		Work package
Ausrüstungselement	Element mit Ausrüstungsattributen	Rohr; Rohrschelle; Sicherungskasten; Pumpe	Component
Baulage	Orientierung eines Elements	Definition der Eulerschen Drehwinkel nach x,y,z-Prinzip	Orientation
Bauteil	siehe Child		Part
Bauunterlagen			Construction documents
Bauwerk	siehe Parent		Construction
Block	eine werkspezifische Ebene in der Produkthierarchie		
Breite	Breite des Elements; Dimension in y-Richtung; rechte-Hand-Regel (x in Fahrtrichtung)	100 mm	width
Child	untergeordnetes Objekt in einer Hierarchie	Platten und Profile sind die "Childs" zu Paneel in einer Produkthierarchie	Child
Constraint	Eine Bedingung, die erfüllt sein muss, damit ein Prozess gestartet werden kann	Abhängigkeit zwischen zwei Bauteilen	Constraint
Eigenschaft	qualifizierendes Merkmal einer Ressource; Fähigkeit	Eigenschaften eines Transportmittels: Tragkraft; Geschwindigkeit; Fähigkeit des Personals: Schweißen	Property

12099

Abbildung 1: Auszug aus dem Glossar

### 1.1.3 Modellierung eines generischen Simulationsdatenmodells

Die Projektpartner versuchten im ersten Schritt, die notwendigen Daten aus den Zielinformationen abzuleiten. Zielinformationen sind beispielsweise Fertigungspläne und Kapazitätsvorgaben. Die Projektpartner stellten jedoch fest, dass dieser Ansatz nicht Erfolg versprechend ist, da notwendige Modellierungsinformationen nur implizit in den Zielinformationen enthalten sind und sich nur mit großem Aufwand (viele Iterationsschleifen) bestimmen lassen. Stattdessen analysierten die Projektpartner den Prozessablauf der Schiffserstellung und der dabei zum Einsatz kommenden EDV-Systeme. Diese bilden die

Datenquellen für die Simulation. Der Prozess beschreibt die verschiedenen Ablaufschritte vom Design über die Produktionsplanung bis zur Fertigung und Montage des Schiffs.

Im Verlauf der Analyse zeigte sich, dass eine Unterteilung des Datenbestandes entsprechend der Wiederverwendbarkeit von Daten sinnvoll ist. In die Simulation fließen Daten ein, die nur selten verändert werden, und Daten, die häufigen Änderungen unterworfen sind. Daten über die Struktur der Werft, ihre Ressourcen und deren Verfügbarkeiten unterliegen Veränderungen, jedoch sind diese viel seltener als beispielsweise die Änderungen an Produktdaten. Produktdaten sind meist nur für ein Schiff einsetzbar. Um dieser Struktur zu entsprechen, unterteilten die Projektpartner das Datenmodell in die Bereiche:

- Datenmodell der Systemlastdaten (SystemLoadDataModel, Abschnitt 1.1.3.1),
- Datenmodell der organisatorischen Daten (OrganisationalDataModel, Abschnitt 1.1.3.2),
- Datenmodell der technischen Daten (TechnicalDataModel, Abschnitt 1.1.3.3)

Mit dem SystemLoadDataModel beschreiben die Projektpartner alle Bauteile, die verschiedenen Prozesse sowie die notwendigen Planungsinformationen. Im OrganisationalDataModel beschreiben die Projektpartner das verwendete Arbeitszeitmodell und wie dieses durch die Simulation verwendet wird. Mit dem TechnicalDataModel erfassen die Projektpartner alle notwendigen Ressourcen für die Simulation.

#### 1.1.3.1 Das Datenmodell der Systemlastdate

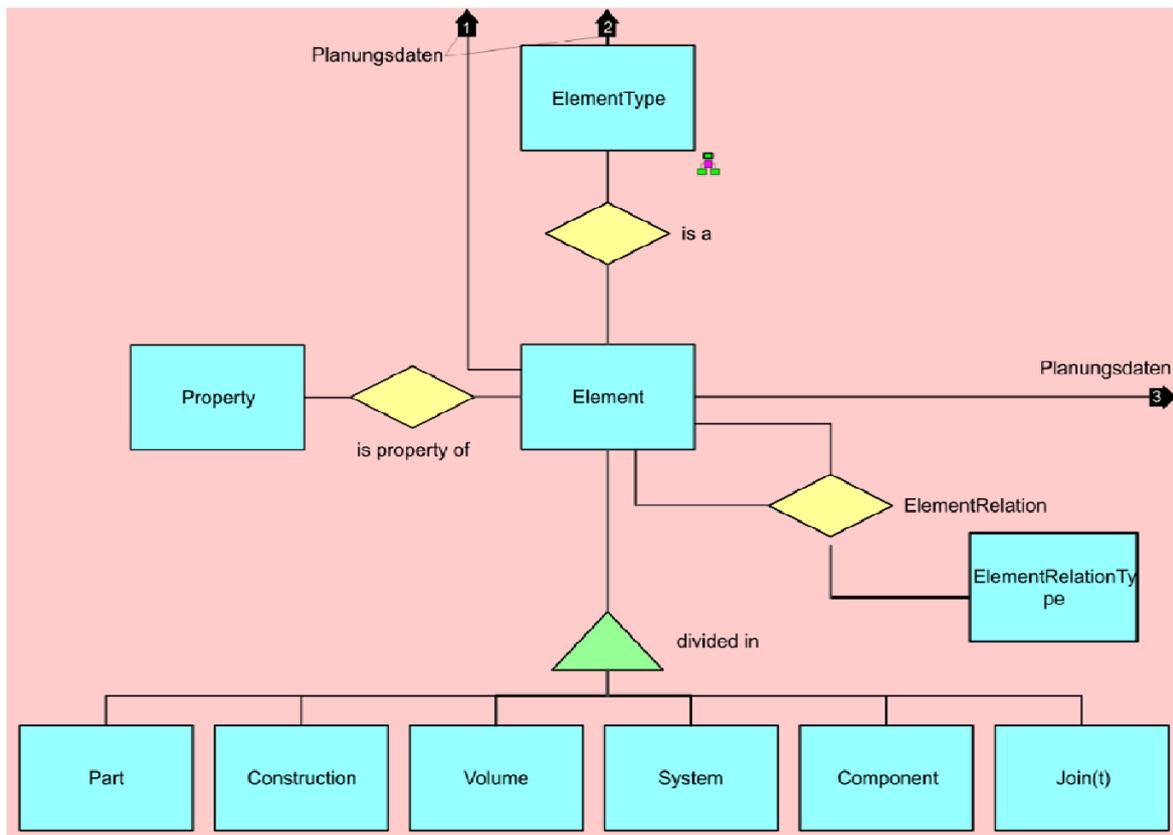
Unter Systemlastdaten lassen sich alle Daten zusammenfassen die für einen spezifischen Simulationslauf notwendig sind. Diese Daten müssen für den Simulationslauf in das Simulationsmodell geladen werden. Das Datenmodell der Systemlastdaten untergliedert sich in drei Bereiche:

- Produktdaten (Product Data)
- Prozessdaten (Process Data)
- Planungsdaten (Planing Data)

##### Die Produktdaten

Das Teilmodell der Produktdaten ist in Abbildung 2 dargestellt. Ziel des Teilmodells ist die vollständige Beschreibung aller Informationen, die notwendig sind, um das Schiff zu beschreiben. Zentrales Element dieser Beschreibung ist die Entität *Element*. Unter einem Element verstehen die Projektpartner ein beliebiges Bauteil oder eine beliebige Baugruppe. Eine Typisierung von Bauteilen haben die Projektpartner nicht vorgenommen, um die Entität Element nicht in ihrem Einsatzbereich einzuschränken.

Das Element ist über die m:n-Relation (ElementRelation) reflexiv gestaltet. Hierdurch lassen sich einzelne Elemente genauso erfassen wie die übergeordnete Baugruppe oder ein Halbzeug, aus dem das Bauteil gefertigt wurde. Für den Schiffbau ist es typisch, im Stahlbau Platten aus größeren Platten zu brennen und diese anschließend zu größeren Strukturen zu fügen. Für jede dieser Stufen ist es nötig, das Ausgangs- und das Zielbauteil zu beschreiben. Die Entität Element ermöglicht dies, da sie sowohl Halbzeug, Bauteil, Baugruppe oder das Schiff als die oberste Baugruppe benennen kann.



12006

**Abbildung 2: Produktdaten im Datenmodell der Systemlastdaten**

Um die einzelnen Daten eines Elementes zu speichern, verwenden die Projektpartner Attribute, die dem Element zugeordnet sind. Diese Attribute wurden mit Hilfe eines Brainstormings und auf Basis des Erfahrungswissens von FSG, CMT und TUHH zusammengetragen (Tabelle 2). Die zusammengestellten Attribute sind von den Projektpartnern allgemein gefasst worden. Sie sollten sich für jedes beliebige Bauteil in einem Schiff ermitteln lassen.

**Tabelle 2: Attribute der Entität Element im Datenmodell der Systemlastdaten**

Attribut	Erklärung	Attribut	Erklärung
name	Name des Bauteils	center_of_gravity	Schwerpunkt des Bauteils oder der Baugruppe
ID	eindeutige Nummer	amount	Anzahl der Bauteile
length	Länge der Hüllbox eines Bauteils	orientation	Orientierung des Bauteils (Unterschied zwischen Baulage und Einbaulage)
width	Breite der Hüllbox eines Bauteils	storage_condition	Eigenschaft des Lagers

Attribut	Erklärung	Attribut	Erklärung
height	Höhe der Hüllbox eines Bauteils	storage_locatoin	Position des Lagers
weight	Gewicht des Bauteils	delivery_unit	Verpackungseinheit
position	Position im Schiff gemessen vom Schiffsursprung	priority	Priorität
project_no	Projektnummer des Schiffbauprojekts	volume	Volumen des Bauteils
BOM_no	Stücklistennummer	transport_condition	Transporteigenschaften
delivery_date	Lieferdatum des Bauteils	surface_area	Oberflächengröße
description	Freitext zur Beschreibung des Teils	surface_condition	Eigenschaft der Oberfläche
manufacturer	Lieferant bei zugelieferten Teilen	transport_position	Position/Orientierung für den Transport
handling_aids	Transporthilfen		

Die Projektpartner ergänzten die allgemeinen Attribute durch spezifische Attribute. Im Datenmodell wurde hierfür noch eine Klassifizierung der Bauteile mit Hilfe der Entitäten Part, Construction, Volume, system, Component und Join(t) durchgeführt. Im später entwickelten Datenbankmodell wurde auf diese Ebene verzichtet. Auf eine Aufzählung der verschiedenen teilspezifischen Attribute wird an dieser Stelle verzichtet. Sie sind umfangreich, wiederholen sich häufig und sind geprägt durch werft- oder lieferantenspezifische Bezeichner.

Die reflexive Eigenschaft der Entität *Element* wurde bereits eingeführt. Die Projektpartner nutzen diese Relation, um die Bauteilhierarchie des Produkts zu modellieren. Nur durch sie wird es möglich, Teile in Baugruppen zu gruppieren, sowie Baugruppen zu übergeordneten Baugruppen und letztendlich zum Schiff zu gruppieren. Neben der Produkthierarchie benötigen Simulationsexperten noch weitere Sichten (Perspektiven) auf den von ihnen verwendeten Datenbestand. Hierfür können sie die Entität *ElementRelationType* verwenden.

Die Entität *ElementRelationType* ermöglicht eine Verknüpfung von Bauteilen, die auf beliebigen Hierarchieebenen liegen. Hierdurch lassen sich beispielsweise alle Teile eines Systems in einer Sicht kombinieren oder die Ausstattungselemente einer Kabine assoziieren. Für Simulationsexperten sind solche, von der Produkthierarchie abweichende Sichten notwendig, um Randbedingungen einfacher untersuchen und auswerten zu können.

Die Entität Eigenschaft (*Property*) ist *Element* zugeordnet, um zusätzliche Eigenschaften speichern zu können, ohne die Attribute von *Element* erweitern zu müssen. *Property* wollen die Projektpartner nutzen, um *Element* an die Randbedingungen im Anwendungsumfeld anpassen zu können.

Die letzte Entität im Teilmodell Produktdaten ist *ElementType* (Element Typ). Mit dieser Entität klassifizieren die Projektpartner Bauteile. Diese Klassifizierung ist einerseits nötig, um Bauteile einer Art (z. B. Rohre) schnell im Datenbestand finden zu können. Andererseits benötigen die Simulationsexperten diese Klassifizierung, um die Verwendung von Bauteilen in einem Prozess (z.B. Montageprozess) zu vereinfachen. Bauteile und Baugruppen werden mit einem Prozess in einen neuen Zustand überführt. Bei diesem Prozess kann es sich um ein Fertigungs- oder Montageverfahren handeln. Eine Möglichkeit, dies zu realisieren, ist, ein spezifisches Bauteil mit einem spezifischen Prozess zu verknüpfen (Relation Planungsdaten 3 in Abbildung 2 und Abbildung 3). Diese Verknüpfung ist jedoch einerseits starr und muss andererseits mit großem manuellem Aufwand erzeugt und gepflegt werden.

Eine zweite Möglichkeit, die Verknüpfung von Bauteil und Prozess zu erreichen, ist die Definition von Prozessstypen. Diese können anschließend mit Teiletypen verknüpft werden. Anschließend lässt sich die Zuordnung eines spezifischen Prozesses zu einem spezifischen Teil automatisieren, da alle Teile eines Typs mit demselben Prozess beaufschlagt werden. Aus diesem Grund besteht die Relation 2 (Abbildung 2) zwischen dem Teilmodell der Produkt- und der Prozessdaten.

Eine dritte Möglichkeit besteht in der Zusammenfassung von mehreren Teilprozessen zu einem Prozessmuster (*ProcessTemplate*). Detailliert wird dieses Verfahren bei der Beschreibung der Prozessdaten erläutert. Nötig ist hierfür die Verknüpfung dieses Prozessmusters mit demjenigen Element, was über die Relation 1 (Abbildung 2 und Abbildung 3) erreicht wurde.

Das Teilmodell der Prozessdaten (*ProcessData*) ist in Abbildung 3 dargestellt. Ziel der Projektpartner war es, mit dem Teilmodell die notwendigen Voraussetzungen zu schaffen, um beliebige Prozesse der Fertigung und Montage im Verlauf der Schiffserstellung beschreiben zu können.

Der einfachste Ansatz dafür ist, für jedes Teil den Prozess zu definieren, mit dem es bearbeitet wird. Die Projektpartner realisierten dies durch die direkte Verknüpfung von Bauteilen (*Element*) und Prozess (*Process*) (Abbildung 2 und Abbildung 3 Relation 3). Die Entität Prozess modellierten die Simulationsexperten reflexiv, sodass sich Vorgänger-/Nachfolgerbeziehungen zwischen verschiedenen Prozessschritten modellieren lassen.

Jeder Prozess bedingt eine Qualifikation (*Qualification*). Die Qualifikation nutzen die Simulationsexperten, um eine Verknüpfung zwischen einem Prozess und einer Ressource realisieren zu können. Detaillierter wird auf die Beziehung zu einer Ressource in Abschnitt 1.1.3.3 (Seite 21) eingegangen. Innerhalb des Prozessdatenmodells bestimmten die Simulationsexperten, dass jeder Prozess zwingend eine Qualifikation benötigt. Die Qualifikation besitzt als Attribut eine *qualification\_ID* für ihre eindeutige Identifizierung.

### Die Prozessdaten

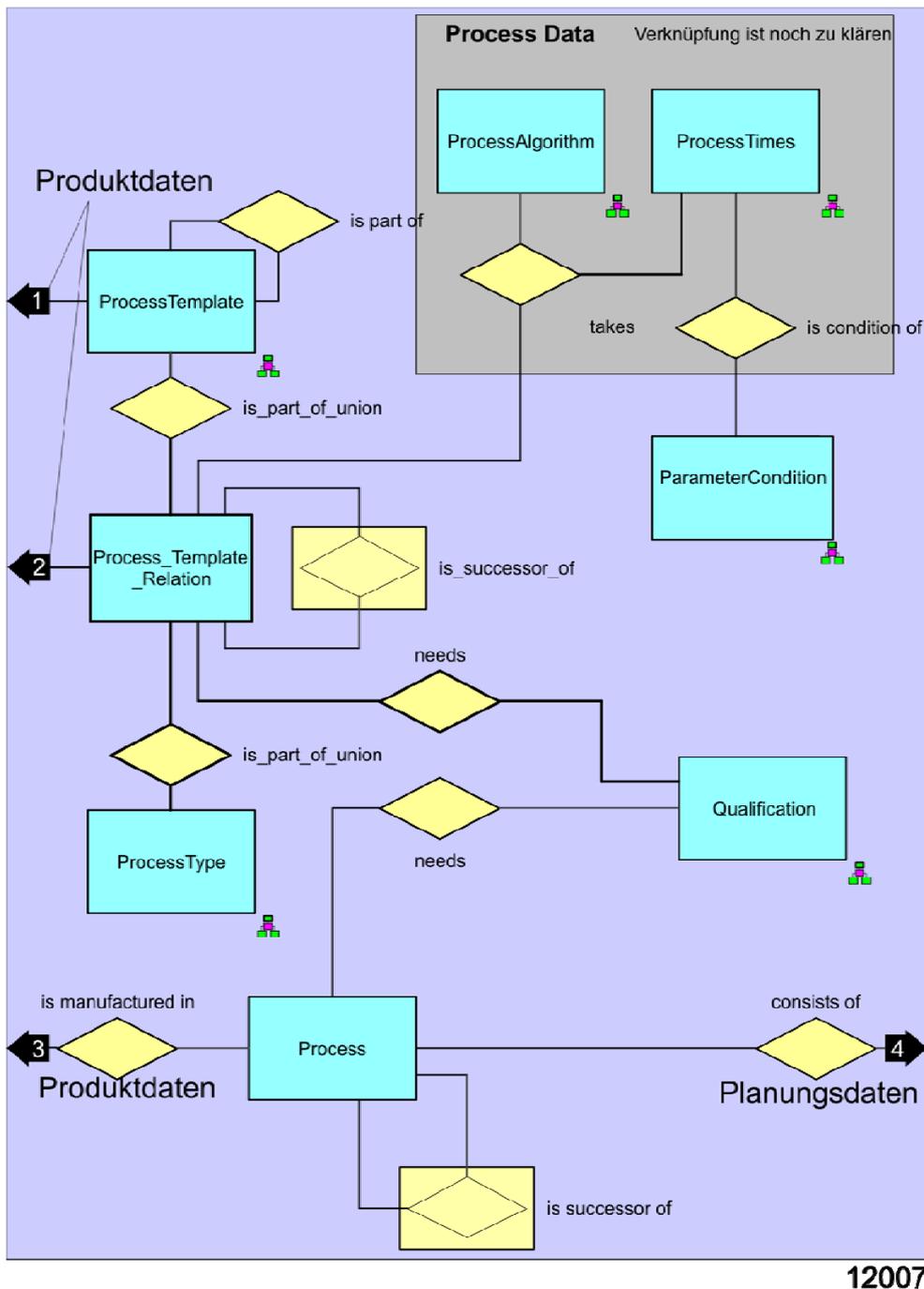


Abbildung 3: Prozessdaten im Datenmodell der Systemladedaten

Einen mehrfach verwendeten Prozess modellieren die Simulationsexperten mit mehreren Entitäten. Zentrales Element eines solchen Prozesses ist die Entität Prozesstemplaterelation (*ProcessTemplateRelation*). Sie verknüpft die verschiedenen Beschreibungselemente zu einem vom Simulationsanwender verwendbaren Prozess. Die Entität ist reflexiv modelliert, um Vorgänger-/Nachfolgerbeziehungen modellieren zu können.

Die Entität Prozesstyp (*ProcessType*) dient der Typisierung und Einteilung verschiedener Prozesse in Gruppen. Jeder Prozesstyp besitzt eine *process\_ID* zur eindeutigen Identifikation, einen *process\_type\_name* als sprechenden Bezeichner sowie eine *process\_description*, um eine detaillierte Beschreibung hinterlegen zu können.

Jeder Entität Prozesstemplaterelation ist entweder ein Algorithmus (*ProcessAlgorithm*) oder eine feste Prozesszeit (*ProcessTimes*) zur Festlegung der Dauer zugeordnet. Die Entität Algorithmus besitzt die Attribute `algorithm_ID`, `algorithm_description` sowie `algorithm_parameters`. Die `algorithm_ID` dient der eindeutigen Identifizierung des Algorithmus, die `algorithm_description` beschreibt die Funktion des Algorithmus und das Attribut `algorithm_parameters` enthält die für die Berechnung notwendigen Parameter. Einen Berechnungsalgorithmus verwenden Simulationsexperten, wenn Prozesszeiten von verschiedenen Einflussparametern abhängig sind und sich durch eine Gleichung beschreiben lassen.

Die Entität Prozesszeit verwenden die Simulanten zum Modellieren eines Prozesses, der immer dieselbe Zeit zur Durchführung benötigt. Die Entität Prozesszeit besitzt die Attribute `process_time_ID` für die eindeutige Identifikation einer Prozesszeit, `process_template_ID` für die Zuordnung des Prozesstemplates, `process_time_parameter`, um ergänzende Parameter hinterlegen zu können, `process_time_datatype`, um das Format der Zeit definieren zu können, sowie `process_templates_relations_ID`, um die *Process\_Template\_Relation* zuordnen zu können. Der Prozesszeit ist für eine weiterführende Beschreibung die Entität *ParameterCondition* zugeordnet.

Als letzte Entität im Teildatenmodell der Prozessdaten ist das Prozesstemplate (*ProcessTemplate*) der Prozesstemplaterelation zugeordnet. Diese Entität dient der Zuordnung von Prozesstemplate und Bauteil. Aus diesem Grund ist sie auch mit dem Bauteil (Relation 1 in Abbildung 2 und Abbildung 3) verknüpft. Es besitzt die Attribute `process_template_ID` zur Identifikation und Zuordnung sowie `process_template_description` zur Beschreibung.

Die beschriebene Verknüpfung von Entitäten stellt somit die Möglichkeit zur Typisierung von Prozessen, zur Beschreibung der Dauer sowie zur Zusammenstellung verschiedener Einzelprozesse oder Prozessgruppen zu einer Prozessgruppe zur Verfügung. Über die Typisierung von Teilen kann die Zuordnung von Teilen zu Prozesstemplates automatisiert erfolgen. Für Platten eines bestimmten Typs ist dann automatisch definiert, dass sie mit einem speziellen Schiffbauprozess verarbeitet werden. Das Prozesstemplate enthält dann Schritte wie Positionieren, Ausrichten, Fixieren, Schweißen, Drehen, Durchschweißen, Prüfen. Der Vorteil dieser Beschreibung ist, dass ein Simulationsanwender nicht alle Schritte für jedes Teil manuell definieren muss. Durch die direkte Verknüpfung von Bauteil und Prozesstemplateentität erfolgt innerhalb eines Templates die automatische Zuordnung von Teilprozessschritten zu Bauteilen. Hierbei muss der Simulationsexperte bei der Erstellung und Zuweisung des Templates darauf achten, keine Mehrdeutigkeiten zu definieren.

### Planungsdaten

In den Plandaten beschreiben die Projektpartner den Gesamtprozess der Schiffserstellung. Typisch ist es hier, einen Netzplan zu erstellen. Jedem Knoten des Netzplans wird anschließend eine Aktivität (Activity) zugeordnet. Planer lösen diese Aktivitäten anschließend in Tätigkeiten/Prozessen auf und teilen diesen Arbeitsstationen im Produktionsablauf zu.

Für die Modellierung dieser Daten benötigt der Simulationsexperte eine hierarchische Struktur. Die reflexive Entität *Activity* ermöglicht diese Modellierung einerseits über eine Vorgänger-Nachfolgerbeziehungen (*is successor of*), andererseits durch die Verschachtelung (*is part of*) von Aktivitäten ineinander. Durch die Relation 4 (Abbildung 4)

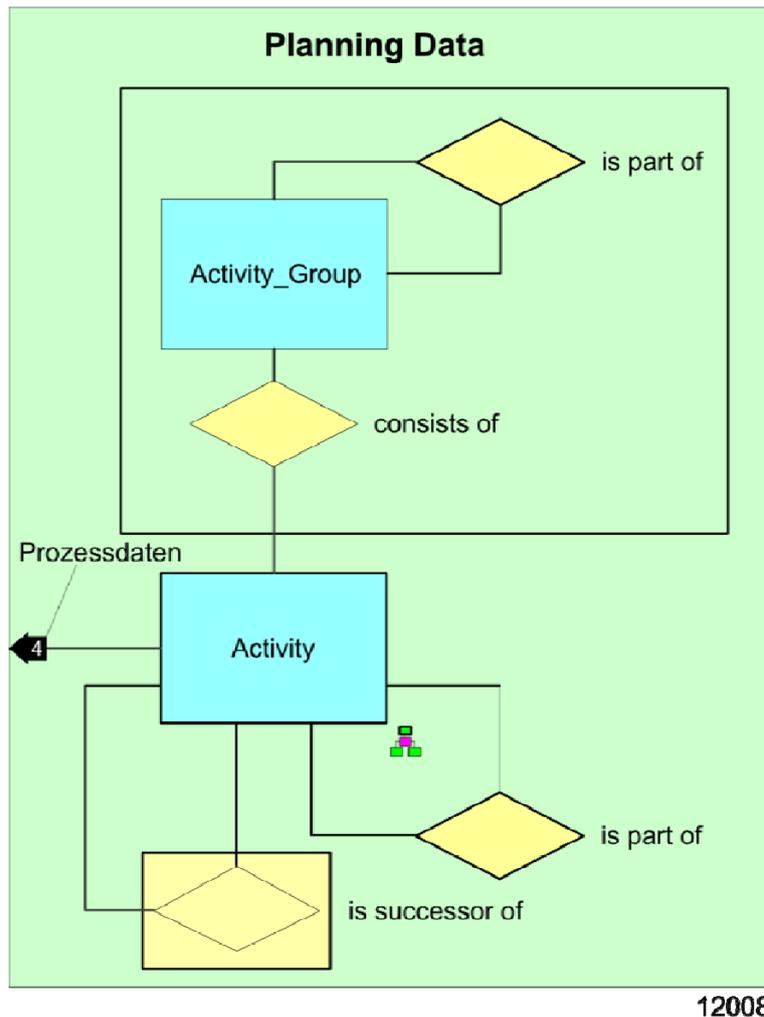


Abbildung 4: Teilmodell der Planungsdaten (Planning Data)

sind Aktivitäten mit Prozessen verknüpft. Hierdurch lässt sich die Zuteilung der Planer im Datenmodell nachbilden. Die verschiedenen Attribute der Entität sind in Tabelle 3 zusammengestellt und beschrieben.

Die Entität *Activity\_Group* ermöglicht dem Simulationsexperten eine Gruppierung, ohne die hierarchische Struktur zu berücksichtigen bzw. zu verletzen. Simulanten verwenden solche Gruppierungen, wenn sie beispielsweise alle Arbeiten eines Typs über den gesamten Erstellungsprozess darstellen möchten.

Die Planungsdaten befinden sich in der beschriebenen Form auf einem groben Niveau. Hier unterscheidet sich das Planungsniveau deutlich von dem simulierten Ablauf. Für eine zukünftig detaillierte Planung sind Anpassungen an den Modellierungsmöglichkeiten notwendig. Diese Anpassungen müssen umgesetzt werden, sobald auch in der Planungsphase ein höherer Detaillierungsgrad erreicht wird. Wie solche Änderungen in der Datenstruktur umgesetzt werden, ist in Abschnitt 1.2.2 ausführlich beschrieben.

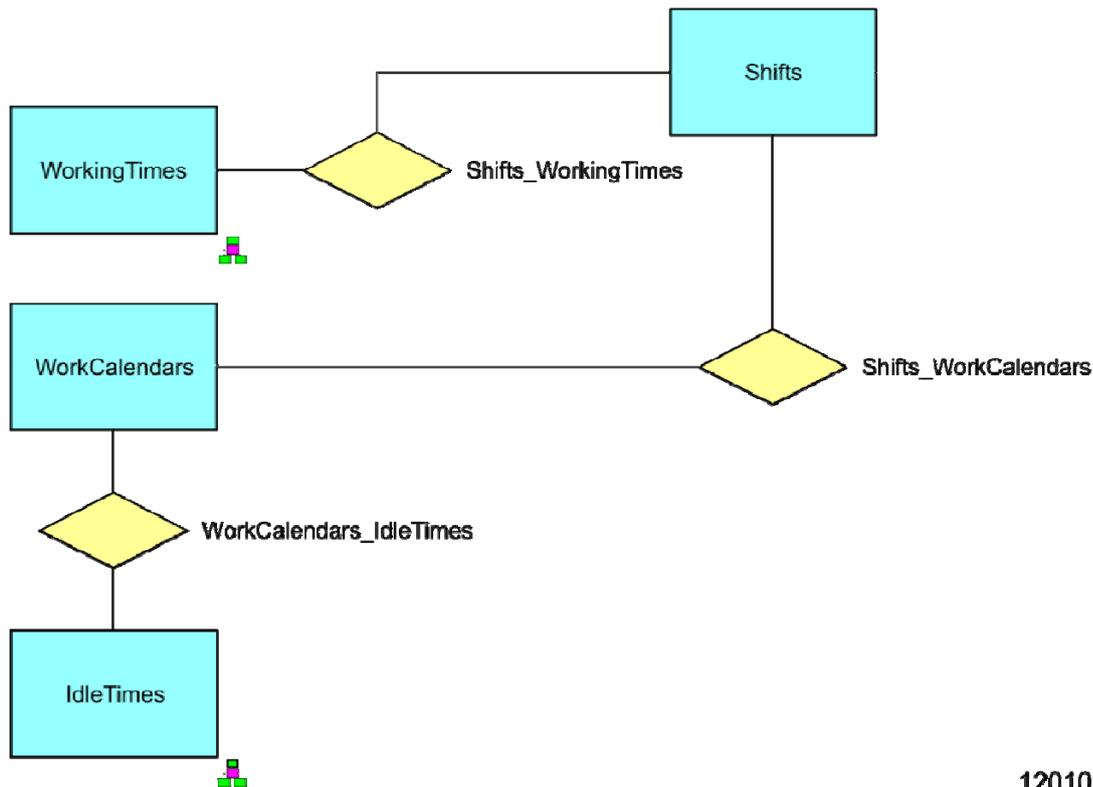
**Tabelle 3: Attribute der Entität Activity**

Attribut	Erklärung	Attribut	Erklärung
activity_ID	eindeutiger Identifikation der Aktivität	completion	Grad der Vervollständigung
cost_center	Kostenstelle	earliest_start_date	frühester Starttermin der Aktivität
cost_unit	Kostenträger	lates_start_date	spätester Starttermin
Budget	zulässige Kosten (z.B.: in Stunden oder €)	earliest_end_date	frühester Endtermin der Aktivität
navil_building_group	Schiffbauspezifische Nummer	lates_end_date	spätester Endtermin
place_of_manufacturing	Bauplatznummer	description	Beschreibung
simulation_start_date	Startdatum ab dem die Simulation ausgeführt wird	simulation_start_date	Enddatum der Simulation
as_is_start_date	Ist-Startdatum in der Simulation	as_is_end_date	Ist-Endtermin der Simulation

### 1.1.3.2 Das Datenmodell der organisatorischen Daten (OrganisationalDataModel)

Im Datenmodell der organisatorischen Daten beschreibt das Projektteam die Arbeitszeiteinteilung (Abbildung 5) für Ressourcen. Das zentrale Element ist die Entität Schicht (*Shifts*), über die auch die Verknüpfung zu den Ressourcen hergestellt wird. Jeder Schicht ordnen die Projektpartner Arbeitszeiten (*WorkingTimes*) zu. Jeder Arbeitszeit sind die Attribute *WorkTimeID*, *StartDayOfWeek*, *StartTime*, *EndDayOfWeek* sowie *EndTime* zugeordnet. Über die Attribute lassen sich somit die Arbeitszeiten einer Woche definieren und über die eindeutigen ID's direkt ansprechen.

Abweichungen von diesen möglichen Arbeitstagen, wie sie beispielsweise durch Krankheit oder Urlaub entstehen, modelliert das Projektteam mit Hilfe der Entität Leerlaufzeiten (*IdleTimes*). Eine Leerlaufzeit beschreiben die Attribute *IdleTimeID*, *IdleTimeStart*, *IdleTimeEnd* und *Description*. Die mit Hilfe des organisatorischen Datenmodells modellierten Arbeitszeiten lassen sich einerseits für die Modellierung der Verfügbarkeit von Werkern und damit verbundenen Anlagen verwenden. Andererseits lassen sich die Arbeitszeiten auch nutzen, um eine Anlagenverfügbarkeit zu beschreiben. Typische Beispiele sind der Ausschluss der Nutzung von bestimmten Bauplätzen innerhalb der Wintermonate oder die Modellierung von geplanten Wartungen und Überholungen von Maschinen oder Anlagen.



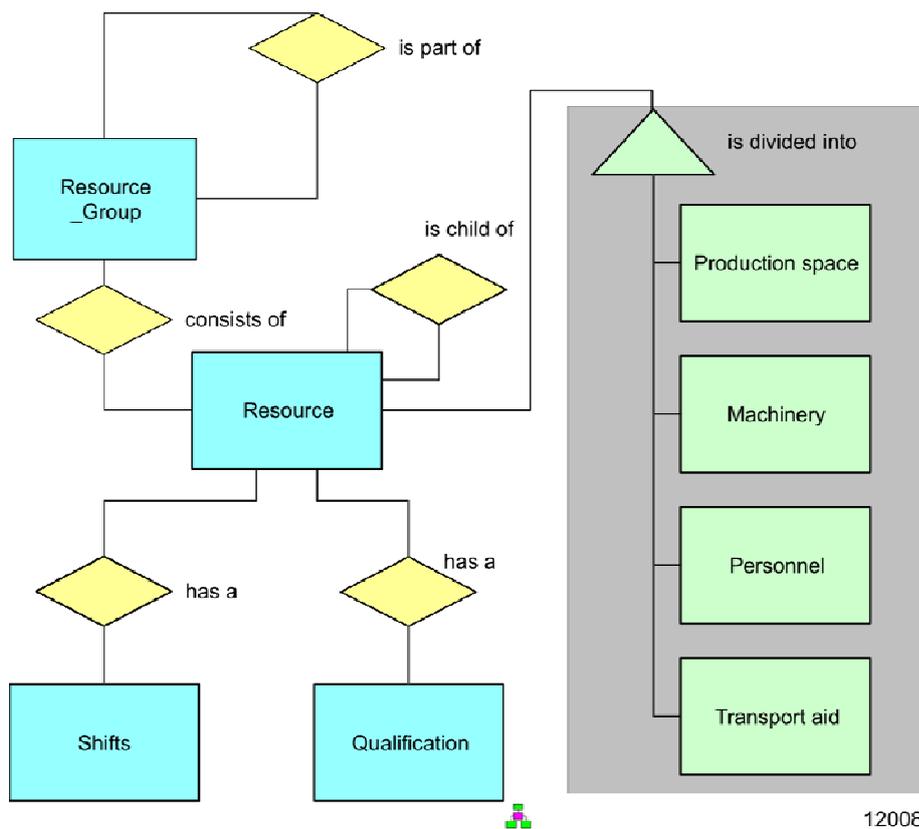
12010

Abbildung 5: Datenmodell der organisatorischen Daten

### 1.1.3.3 Das technische Datenmodell (*TechnicalDataModel*)

Zentrales Element des technischen Datenmodells (Abbildung 6) ist die Entität Ressource (*Resource*). Ressourcen sind ein notwendiges Mittel im Prozess der Schiffserstellung. Typische Ressourcen, die in der Simulation modelliert werden, sind Mitarbeiter oder Bauplätze. Die Entität Ressource ist reflexiv modelliert. Das Projektteam wählte diese Modellierung, um auch innerhalb der Ressourcen eine hierarchische Struktur aufbauen zu können.

Die Entität Ressource kann unterteilt werden in Bauplätze, Maschinen, Personal und Transporthilfsmittel. Durch die Entität *Resource\_Group* lassen sich Ressourcen gleichen Typs in einer Gruppe sammeln. Dies erleichtert den Simulationsexperten die Verwendung der Ressourcen, da sie eine Menge gleichartiger Ressourcen auf einmal ansprechen können. Auch die Entität *Ressourcengruppe* ist reflexiv modelliert, um auch Gruppen wieder gruppieren zu können. Ein typisches Beispiel für solch eine Hierarchie liegt bei der Modellierung von Mitarbeitergruppen vor. Einzelne Mitarbeiter eines Gewerks bilden eine Ressource. Ein Simulationsexperte muss diese jedoch auch über ihre Arbeitsgruppe ansprechen können. Für Auswertungen kann es wiederum notwendig sein, alle Mitarbeiter eines Gewerks ansprechen zu können, um so die Gesamtauslastung zu bestimmen.



**Abbildung 6: Model der technischen Daten (TechnicalDataModel)**

Das Projektteam hat der Ressource außerdem die Entitäten Qualifikation (*Qualification*) und Schicht (*Shifts*) zugeordnet. Die Entität Schicht ist eine Entität aus dem Teilmodell der organisatorischen Daten (Absatz 1.1.3.2) und ermöglicht dem Simulationsanwender, die Verfügbarkeit der Ressourcen zu definieren. Das Hauptanwendungsgebiet ist die Ressource Mitarbeiter, jedoch sind auch andere Szenarien wie die jahreszeitenabhängige Nutzung von Freiluftbauplätzen denkbar. Die Qualifikation ist das Bindeglied zwischen einer Ressource und einem Prozess. Die Projektgruppe entschied sich gegen eine direkte Verbindung von Prozess und Ressource, da Änderungen an einer der beiden Komponenten zu kaum überschaubaren Veränderungen in den Modellen führen. Durch das Auflösen der direkten Verknüpfung wird dieses Problem umgangen und der Simulationsexperte wird in die Lage versetzt, beliebige Änderungen an einer Ressource oder einem Prozess vorzunehmen.

## 1.2 Änderungs- und Erweiterungskonzepte für die Datenstruktur

Im vorangegangenen Abschnitt wurde das von den Projektpartnern entwickelte generische Datenmodell beschrieben. Dieses Modell ist einer stetigen Entwicklung unterworfen: Ziel des im folgenden beschriebenen Änderungs- und Erweiterungskonzepts ist es daher, dieses Datenmodell systematisch aktualisieren zu können.

Hierbei besteht immer das Problem, dass sich entweder Änderungen in der Datenstruktur auf reale Prozesse auswirken oder dass Änderungen in Prozessen Änderungen am Datenmodell erzwingen. Zu diesem Zweck wird einerseits ein modulares Datenstruktur-

element vorgestellt (Abschnitt 1.2.1). Andererseits wird der erarbeitete Standardprozess für Änderungen am generischen Datenmodell beschrieben (Abschnitt 1.2.2).

### **1.2.1 Entwurf von modularen Datenstrukturelementen zur Änderung**

Das modulare Datenstrukturelement hat das CMT entwickelt. Es wird im Abschlussbericht des CMT unter dem Ordnungspunkt 1.2.1 beschrieben. Das CMT erzeugte die modulare Struktur, indem Tabellen im Datenbankschema jederzeit durch zusätzliche Attribute erweiterbar sind. Die verschiedenen Tabellen sind über Schlüsselattribute gekoppelt, so dass das Datenbanksystem auch dann nicht seine Konsistenz verliert, wenn Änderungen vorgenommen werden.

### **1.2.2 Definition eines standardisierten Geschäftsprozesses zur Änderung der Datenstruktur**

Ziel des standardisierten Geschäftsprozesses ist es, einen zuverlässigen und systematischen Änderungsprozess für die Datenbankstruktur (Datenbankschema) zu etablieren. Das vom CMT entwickelte modulare Datenstrukturelement sichert die Datenbank gegen Inkonsistenz von technischer Seite ab. Der standardisierte Geschäftsprozess zur Änderung der Strukturen sichert die Konsistenz zu der angrenzenden IT-Infrastruktur und den Prozess im Produktionsablauf ab. Um einen allgemeingültigen Prozess zu entwickeln, nutzte das IPMT die drei Änderungsfälle der Industriepartner. Diese Änderungsfälle beschreiben die Partner in ihren jeweiligen Teilberichten unter den folgenden drei Punkten:

1.2.2.1 FSG: Änderung der werftinternen Simulationsdatenstruktur

1.2.2.2 FLW: Änderung der Lieferanten-Datenstruktur

1.2.2.3 HDW: Änderung des werftinternen Datenaustauschs

Unter dem Gliederungspunkt 1.2.2.4 beschreibt das IPMT das standardisierte Vorgehen für die Umsetzung einer Änderung.

#### **1.2.2.4 Standardisierter Geschäftsprozess zur Änderung der Datenstruktur**

Die Entwicklung eines standardisierten Geschäftsprozesses bedingte die folgenden Punkte:

- eine Beschreibungsnomenklatur,
- ein grundlegendes Verständnis über die Abwicklung von Veränderungen im Unternehmens- und IT-Kontext (Change Management),
- Ableitung von notwendigen Änderungsschritten aus den Änderungsfällen
- Kombination der Schritte des Change Managements und der in der Analyse ermittelten Änderungsschritte zu einem Standardprozess (Modellierung)
- Dokumentation des Standardgeschäftsprozesses.

#### Die Beschreibungsnomenklatur

Für die Beschreibung des Geschäftsprozesses wählte das IPMT das Modellierungswerkzeug ARIS. Für ARIS sprach einerseits, dass es bereits für die Modellierung des generischen Datenmodells verwendet wurde und dementsprechend kein erweiterter Aufwand aus der Anwendung dieses Werkzeugs resultierte. Andererseits ist ARIS eine objektorientierte

enterte Modellierungsumgebung, die in der Lage ist, hierarchische Strukturen abzubilden. Dies senkt den Modellierungsaufwand, da Objekte wiederverwendbar sind. Außerdem kann durch die hierarchische Struktur der Geschäftsprozess in mehrere Ebenen aufgegliedert werden, so dass einerseits eine hinreichende Detaillierung umgesetzt wurde und andererseits die Übersichtlichkeit sichergestellt ist.

### Allgemeine Voraussetzungen für das Change Management

Für die Entwicklung des Prozesses zur Anpassung der Simulationsdatenstruktur kommen mehrere Vorgehensmodelle in Frage, die den Schwerpunkt ihrer Projektphasen allerdings sehr unterschiedlich setzen. Aus jedem Bereich können somit Abschnitte auf das benötigte Vorgehensmodell des Change Management projiziert werden. Parallelen lassen sich zu den Aspekten

- allgemeine Projektorganisation
- Implementierung von Standardsoftware
- Software-Engineering

ziehen. Da der zu entwickelnde Geschäftsprozess den Fokus auf die Änderung von IT-Strukturen (Simulationsdatenstruktur) legt, orientierte sich das IPMT bei der Prozessgestaltung an Prozessen zur Implementierung von Standardsoftware und am Software-Engineering (Change Management nach Wiczorrek [4]) und umfasst daher die Schritte

- Erfassen
- Akzeptieren (Prüfen)
- Planen
- Durchführung (Ändern und Koordinieren).

Aus der allgemeine Projektorganisation [5] wurden die folgende Teilbereiche übernommen:

- Strukturierung und damit Verringerung der Komplexität,
- Gliederung des Umfangs, damit dieser übersichtlich und handhabbar wird,
- Abstimmung unterschiedlicher Fachgebiete,
- Sicherstellung der Zielerreichung im abgesteckten Zeitrahmen und
- Erfolgskontrolle

### Ableitung von notwendigen Änderungsschritten aus den Änderungsfällen

Die Analyse der Änderungsfälle bei den Industriepartnern zeigte, dass der erste Schritt des Prozesses die Spezifikation der Änderung ist. An diesen schließt sich die Ist-Stand-Ermittlung an. Wenn diese zeigt, dass die gegebenen Strukturen die gewünschten Informationen bereits vorhalten, kann mit der Adaption der Datenstruktur begonnen werden. Liegen die Informationen nicht vor, ist der nächste Schritt die Anpassung des Informationsstandes.

Im nächsten Schritt muss der Simulationsexperte prüfen, ob durch die gewünschte Änderung die Konsistenz der Datenstruktur verletzt wird. Ist dies der Fall, muss der Simulationsexperte die Änderung so anpassen, dass einerseits die Konsistenz der Datenstruktur nicht verletzt wird und andererseits die gewünschte Spezifikation umgesetzt wird. Anschließend ändert der Simulationsexperte die Datenstruktur, prüft dann die Konsistenz seiner Änderung und führt einen Plausibilitätscheck durch. Mit der abschließenden

Dokumentation und Kommunikation beendet der Simulationsexperte den Änderungsprozess.

Änderungen an der Datenstruktur werden durch Änderungen der Simulationsanwendung getrieben. Die Gründe für solche Änderungen sind vielfältig:

- Veränderungen an der realen Struktur, die sich mit den bestehenden Modellierungsmöglichkeiten nicht abbilden lassen,
- Erweiterungen des Simulationsmodells, die neue Informationen bedingen,
- Anpassungen im Betrachtungsfokus des Simulationsmodells,
- Vereinfachungen eines Modells, die eine veränderte Datenaggregation benötigen.

Zum besseren Verständnis beschreibt das IPMT den standardisierten Geschäftsprozess zur Änderung anhand eines Beispiels. Ziel der beschriebenen Änderung ist die Implementierung eines neuen Bausteins in ein Simulationsmodell. Damit verbunden sind Anpassungen an der Datenstruktur, so dass der neue Baustein die benötigten Informationen erhält.

#### Kombination der Schritte des Change Managements zu einem Standardprozess

Der Anpassungsprozess beginnt (Abbildung 7) mit der Entscheidung, dass ein festgelegter Baustein zu implementieren ist. Entsprechend den Schritten der allgemeinen Projektorganisation ist das erste Ziel, die Komplexität zu verringern. Laut Geschäftsprozess (GP) erfasst der Simulationsexperte, wie das Simulationsmodell verwendet wird und welche Informationen für die Verwendung nötig sind. Anschließend prüft er, ob sich die Änderungen durchführen lassen.

Mit der positiven Entscheidung beginnt die Implementierung des Bausteins. Hierfür plant der ausführende Mitarbeiter die notwendigen Arbeitsschritte, definiert Meilensteine und schätzt Aufwände ab. Anschließend beginnt der technische Teil der Implementierung (Durchführung der Bausteinimplementierung). Der neue Baustein wird in das Modell eingefügt und Parameter werden für den Baustein gesetzt. Außerdem ordnet der Simulationsexperte die benötigten Datensätze zu und nimmt die Anpassungen am Programmcode vor.

Wenn der Simulationsexperte die Datensätze für den neuen Baustein zuordnet, muss er auch eine entsprechend angepasste Datenstruktur zur Verfügung stellen. Baustein und Datenstruktur stehen hier in Wechselwirkung. Abhängig vom neuen Baustein muss die Datenstruktur Informationen bereitstellen. Die Struktur des Bausteins muss somit einerseits die Modellierungsbedingungen der Realität erfüllen. Andererseits muss sie sich an die Restriktionen der Datenstruktur halten.

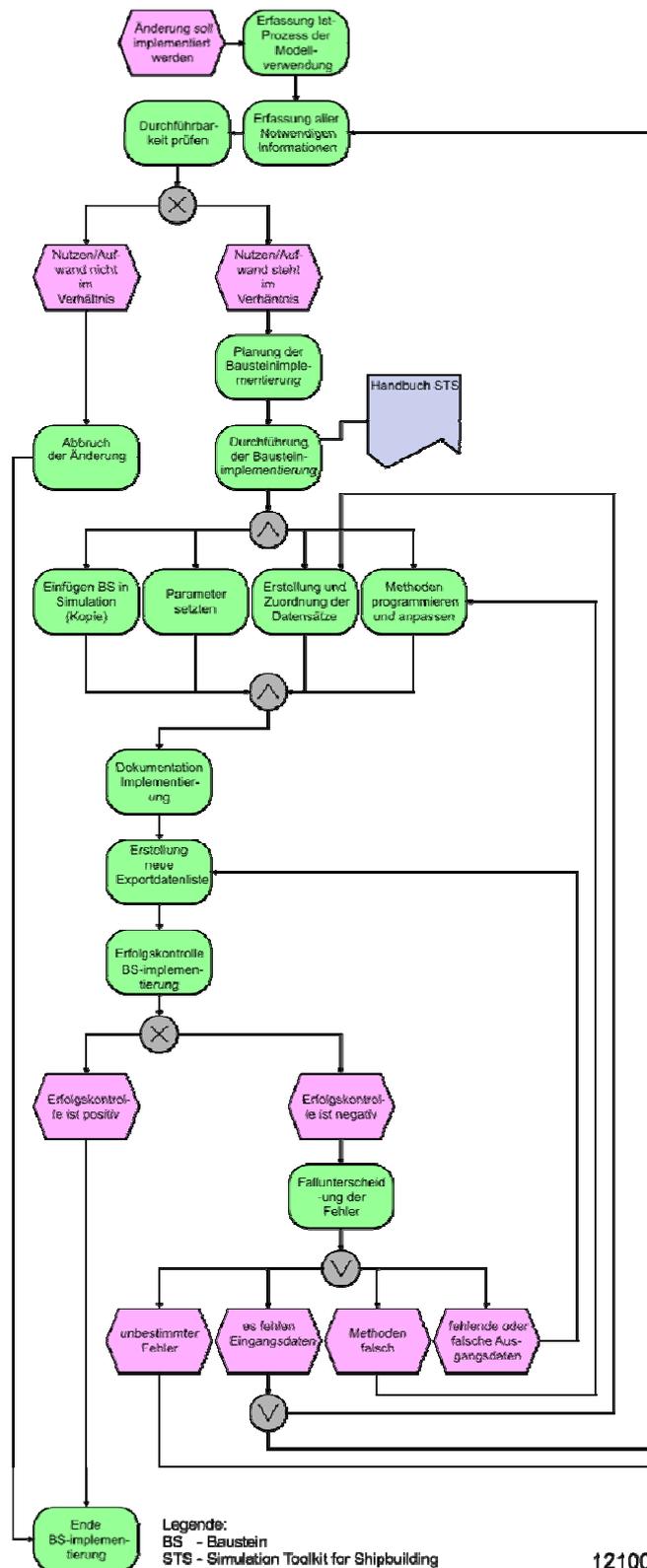
Nachdem der Simulationsexperte den Baustein in das Modell integriert hat, dokumentiert er seine Änderungen an Modell, Baustein und Datenstruktur und beschreibt, in welcher Form Daten aus dem Datenbanksystem exportiert werden.

Der Simulationsexperte schließt den Integrationsprozess mit der Erfolgskontrolle ab (letzter Schritt der allgemeinen Projektorganisation). Hierfür muss er die Korrektheit des Modells und der Simulationsergebnisse validieren. Außerdem muss er sicherstellen, dass die angepasste Datenstruktur im Betrieb die Daten richtig zur Verfügung stellt. Typische mögliche Fehler, die nach der beschriebenen Implementierung bestehen können, sind fehlende Eingangsdaten, falsch ablaufende Methoden im Programmcode sowie falsche oder unvollständige Ausgangsdaten.

Wenn Eingangsdaten fehlen, hat der Simulationsexperte beispielsweise eine unvollständige Erfassung durchgeführt oder bei der Zuordnung der Datensätze Fehler gemacht. In beiden Fällen muss der Simulationsexperte den Geschäftsprozess ab dieser Stelle erneut durchlaufen. Das kann beispielsweise zu einer erneuten Anpassung der Datenstruktur führen.

Dokumentation des Standardgeschäftsprozesses

Die Dokumentation des Prozessablaufs setzte das IPMT durch die Modellierung in ARIS um. Das Modell ist hierarchisch aufgebaut und kann weiter detailliert werden. Hierdurch ist es flexibel genug, um auch Anpassungen an neue Änderungsfälle der Datenstruktur zu beschreiben.



12100

Abbildung 7: Standard-Geschäftsprozess

## 2 Daten- und Modellverwaltung

Ziel der Daten- und Modellverwaltung ist eine einheitliche Speicherung aller Informationen, erforderlich sind, um Simulationsmodelle zu erstellen und Experimente durchzuführen. Hierfür ist es notwendig, Simulationsmodelle und Simulationsdaten in geeigneter Form zu speichern, zu dokumentieren und mit Metadaten genauer zu beschreiben. Außerdem ist es erforderlich, diese Modelle und Daten dem Nutzer in einfacher Form wieder zur Verfügung zu stellen.

### 2.1 Verwaltungskonzept für Simulationsmodelle

Zum Verwaltungskonzept des Projektes gehören die Punkte

- Klassifizierung von Simulationsmodellen und -elementen,
- Definition von Modellattributen zur Verwaltung sowie
- Archivierungsstrategien.

Die Klassifizierung von Simulationsmodellen und -elementen erarbeitete der Projektpartner FSG und beschreibt die Ergebnisse in Kapitel 2.1.1. Im Abschnitt 2.1.2 beschreibt das CMT die notwendigen Attribute zur Verwaltung der Modelle. Diese wurden von der FSG gesammelt und sollen das Ziel beschreiben (z.B.: Modellstand und Analyseziel) und die Modelleigenschaften zusammenfassen (z.B.: Datenstand, Speicherdatum, Bearbeiter, Version der Simulationssoftware und weitere). In Abschnitt 2.1.3 beschreibt die FSG, wie Simulationsmodell und -elemente zu archivieren sind. Das gesamte Verwaltungskonzept ergibt sich aus den Ergebnissen des Abschnitte 2.1 und 2.2.

### 2.2 Verwaltungskonzept für Simulationsdaten

Durch den Einsatz verschiedener Simulationsmodelle in verschiedenen Versionen und die Kopplung mit unterschiedlichen Eingangsdaten ergibt sich eine Vielzahl an Ergebnissen und abgeleiteten Auswertungen. Diese Informationen zu einem späteren Zeitpunkt zu finden, im richtigen Kontext zu interpretieren und anschließend korrekt einzusetzen und zu adaptieren, stellte mit den bestehenden Werkzeugen eine kaum zu meisternde Herausforderung dar. Deshalb erarbeiteten die Projektpartner ein Verwaltungskonzept. Die FSG beschreibt in Abschnitt 2.2.1, wie Simulationsdaten zu klassifizieren sind. Ausgehend von dieser Klassifikation leitete die FSG Anforderungen zur Verwaltung der Daten ab. Das CMT verknüpfte die Anforderungen anschließend in einer Strategie zur Datenhaltung und -archivierung (Abschnitt 2.2.3). Es konnte von den Projektpartnern prototypisch nachgewiesen werden, dass sich ein Datenbanksystem zum Vorhalten der Informationen eines Simulationslaufs bilden lässt. In diesem sind neben den Simulationsmodellen und Eingangs-, Ausgangs- und Auswertedaten auch die beschreibenden Informationen für die einfache und zielgerichtete Wiederverwendung abgelegt.

### 2.3 Exportstrategien für ERP-Systeme

Die Verwaltungskonzepte schaffen einen Rahmen für die Handhabung von Daten innerhalb der Simulationswelt. In der planungsbegleitenden Simulation ist die Zielsetzung jedoch, diese Daten nicht nur im Simulationsumfeld zu verwalten. Diese Daten müssen zurück in die ERP-Systeme gespielt werden, so dass sie beispielsweise für die Koordination von Unterauftragnehmern oder Zulieferern verwendet werden können.

### **2.3.1 Entwicklung von Referenzmodellen für den Simulationsdatenexport in die ERP-Systeme**

Die ERP-System-Welt ist sowohl innerhalb der Werften als auch zwischen den Werften heterogen, weshalb alle beteiligten Werften bei der Gestaltung der Referenzmodelle beteiligt wurden. FLW erarbeitete das Referenzszenario für den ERP-Export der stahlbaulichen Informationen und beschreibt dieses in Abschnitt 2.3.1.1 des Abschlussberichts. Die Zielsysteme für den Export waren ein FLW-eigenes ERP-System, Siemens Teamcenter (PDM-System) sowie dezentrale Informationsverwaltungssysteme. In Abschnitt 2.3.1.2 beschreibt der Projektpartner HDW das Referenzmodell für den Export von Informationen zur Schiffsausrüstung nach SAP, Siemens Teamcenter sowie dezentralen Datensystemen. Die Informationen betrafen beispielsweise Montagereihenfolgen, Projekttermine sowie Prozesszeiten. Im Abschnitt 2.3.1.3 beschreibt die FSG den Datenexport nach MARS. Der Export betraf hier Informationen zur Schiffseinrichtung.

### **2.3.2 Entwicklung von Exportstrategien der Simulationsdaten in die ERP-Systeme**

Auf Basis der entwickelten Referenzmodelle beschreibt die FSG in diesem Kapitel eine Exportstrategie für Ausrüstungs- und Ausstattungsinformationen sowie stahlbauliche Informationen. Mit Hilfe dieser Strategien wird die Entwicklung von Schnittstellen für die Implementierung des Exports in die Systemlandschaft eines Unternehmens erleichtert. Hierdurch wird es für ein Unternehmen möglich, die Simulation planungsbegleitend einzusetzen.

### 3 Konzepte zur Datenbeschaffung

Im dritten Kapitel ihrer jeweiligen Abschlussberichte beschreiben die Projektpartner FSG, HDW, FLW und CMT Importstrategien und Konzepte für die Generierung von Daten. Die Forschungspartner legten hierbei großen Wert darauf, einerseits Lösungen zu entwickeln, die allgemeingültig sind und von allen Partnern angewendet werden können. Andererseits orientierten sie sich an den aktuellen Gegebenheiten in der Industrie. Hierdurch gelang es den Partnern, realistische und umsetzbare Ansätze zu entwickeln.

#### 3.1 Entwicklung von Importstrategien

Die Datenwelt im Schiffbau ist heterogen. Innerhalb der verschiedenen Designstufen setzen die einzelnen Abteilungen unterschiedliche Systeme für die verschiedenen Phasen von Entwurf und Konstruktion des Schiffs ein. Auch für die Planung und Steuerung des Produktionsablaufs verwenden die Abteilungen unterschiedliche Systeme. Es ist eine große Herausforderung aus diesen Systemen die notwendigen Daten zu entnehmen und der Simulation zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund müssen entsprechenden Strategien entwickelt und bereitgestellt werden, so dass sich der Aufwand für die Anwendung der Simulation reduziert.

##### 3.1.1 Strukturierung der Datenquellen für die Simulation

In den Teilkapiteln 3.1.1.1 bis 3.1.1.3 beschreiben die Partner FLW, HDW und FSG wie ihre aktuellen Datenquellen aufgebaut sind und auf welchem Weg diese Daten in die erarbeitete Datenstruktur und die darauf basierende Datenbank zu importieren sind. Für den Projektpartner FLW stand der Import von stahlbaulichen Auftragsdaten der Fertigung im Vordergrund. Diese Daten beschreiben die Fertigungsabläufe innerhalb von Brennstraßen und die anschließenden Fügeprozesse. Das Ziel des Projektpartners HDW war es, BDE-Rückmeldedaten und Daten der Auftragsverfolgung für die Simulation bereitzustellen. Der Projektpartner FSG hatte das Ziel, Rückmeldungen von Lieferanten und Unterauftragnehmern zu untersuchen und ihre Integration in den werftinternen Arbeitsablauf zu betrachten. Von allen Projektpartnern aus der Industrie wurden unternehmensspezifischen BDE- und Materialverwaltungssysteme berücksichtigt.

##### 3.1.2 Entwurf von Strategien zur Datenaufbereitung für die Simulation

Die Datenaufbereitung ist sowohl vor der Erstellung eines Simulationsmodells als auch bei der Durchführung und Auswertung einer Simulation einer der aufwendigsten und wichtigsten Schritte, die der Simulationsexperte durchführt.

Ziel der HDW war die Entwicklung von Methoden, mit denen sich Daten für die Beschreibung von Arbeitsinhalten (Abschätzen von Ressourceneinsatz und Terminen) erzeugen lassen. Beschrieben wird das Ergebnis dieses Arbeitspakets in Absatz 3.1.2.1 des Abschlussberichts der HDW.

Ziel von FLW war es, Daten externer Lieferanten und Unterauftragnehmer so aufzubereiten, dass diese für die Simulation zu Verfügung stehen. Die hierfür entwickelten Strategien beschreibt FLW in Abschnitt 3.1.2.2 ihres Abschlussberichts.

### 3.2 Entwicklung von Methoden zur Datengenerierung

Über große Zeiträume des Schiffentwurfs und der Produktion existiert nur ein unvollständiges Datenmodell. Dennoch benötigt der Simulationsexperte Daten, um Modelle erstellen und Simulationen durchführen zu können. Diese Daten müssen in frühen Phasen der Produktentstehung vom Simulationsexperten generiert werden. Mit dem Vorschreiten des Projekts kann er die überschlägig generierten Daten durch Daten aus Konstruktion und Planung ersetzt werden.

Ziel des Projektpartners HDW war die Entwicklung einer systematischen Methode zur Generierung solcher Daten. Das Vorgehen von HDW gliedert sich in drei Schritte: Im ersten Schritt (Abschnitt 3.2.1 HDW-Abschlussbericht) klassifiziert der Projektpartner die unvollständigen Daten, die den Simulationsexperten zu einer Generierung zwingen. Im zweiten Schritt (Abschnitt 3.2.1) wird das Konzept zur Datengenerierung beschrieben. Hierbei berücksichtigt HDW die klassifizierten Datenlücken und das bei Planern vorhandene Erfahrungswissen. Im letzten Schritt definieren der Projektpartner die funktionalen Anforderungen an einen Datengenerator.

### 3.3 Entwurf von Datengeneratoren

Die Unvollständigkeiten in der Datenbasis der Werften ergeben sich zum einen aus fehlenden Informationen und zum anderen aus der Notwendigkeit, zusätzliche Aufwände durch Datenbeschaffung in den Planungsphasen der Produktentstehung zu vermeiden. Um diesem Zustand zu begegnen, hat der Projektpartner CMT einen Datengenerator für systematisch aufgebaute Baugruppenstrukturen entwickelt. Ein typisches Beispiel für solche Strukturen sind Paneele.

Im Abschnitt 3.3.1 (Abschlussbericht CMT) definiert das CMT die notwendigen Anforderungen an den Datengenerator. Ausgehend von diesen Definitionen entwickelten die Simulationsexperten des CMT die notwendigen Generierungssystematiken (Abschnitt 3.3.2). Hiermit gelingt es dem CMT, Daten für systematisierbare Schiffstrukturen so zu erzeugen, dass sie einerseits das passende Format für die Datenstruktur besitzen und andererseits eine Datenbasis für die Simulation auch in frühen Phasen der Produktentstehung für die Simulation bereitstellen.

## 4 Ergebnisdaten und Auswertungen der Produktionssimulation

Die Simulation ermöglicht dem Anwender, eine Vielzahl von Ergebnisdaten zu erheben und verschiedene Auswertungen, Datenaggregationen und Interpretationen zu erzeugen. Für eine zielgerichtete Anwendung der Simulation ist es deshalb wichtig, diese Vielzahl an Möglichkeiten auf ein sinnvolles Maß zu reduzieren und sie dem Anwender transparent und weiterverwendbar anzubieten.

Der Simulationsexperte ist befähigt, dieses umzusetzen, wenn er ein klares und tiefes Verständnis von den Modellen und ihren Randbedingungen hat. Er kann dann gewünschte Steuerungskennzahlen korrekt aus den Ergebnissen ableiten und in der Simulation implementieren. Hierfür ist es jedoch notwendig, diese gewünschten Kennzahlen zu bestimmen. In Abschnitt 4.1 beschreiben die beteiligten Werften, welche Kennzahlen und Informationen sie für die Steuerung ihrer Fertigung verwenden. Im Abschnitt 4.2 beschreiben die Projektpartner FLW und CMT, wie sich eine Modularisierung umsetzen lässt, so dass sich die Auswertungsschemata auf verschiedene Modelle anwenden lassen, ohne zusätzlichen Implementierungsaufwand zu erzeugen.

### 4.1 Definition von Standardauswertungen und Kennzahlen

Standardauswertungen und Kennzahlen haben das Ziel, die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Betrachtungszeiträumen und Bereichen zu ermöglichen. Außerdem soll der Standard die regelmäßige Erhebung innerhalb der verschiedenen Bereiche der Produktion sicherstellen.

Für die Erstellung der Stahlstruktur ergeben sich wichtige Kennzahlen aus dem Terminerüst. Anforderung für die Entwicklung entsprechender Kennzahlen beschreibt der Projektpartner FLW (Abschnitt 4.1.1). Der Fokus ist, die Terminabweichungen transparent darzustellen.

In der Ausrüstung von Schiffen müssen die Arbeitsleistungen von Werftmitarbeitern und Unterauftragnehmern bewertet werden. Der Projektpartner HDW formulierte hierfür die Anforderungen an Kennzahlen und gewünschte Standardauswertungen.

Noch stärker als in der Schiffsausrüstung werden Unterauftragnehmer in der Schiffsausrüstung eingesetzt. Die Anforderungen an Kennzahlen und Standardauswertungen für diesen Fall wurden von der FSG zusammengetragen.

Die verschiedenen Anforderungen an Kennzahlen und Standardauswertungen hat die FSG anschließend gegliedert. Ziel war es, die verschiedenen Kennzahlen und Auswertungen als Unterstützung für die Planung zur Verfügung zu stellen. Der Projektpartner FSG beschreibt diese Gliederung in 4.1.2.

Abschließend hat der Projektpartner FLW die verschiedenen Kennzahlen und Auswertungen in einem Revisionsmonitor prototypisch zusammengefasst (Absatz 4.1.3). Die Zielsetzung des Revisionsmonitors ist es, Transparenz in der Simulation auch bei Veränderung von Eingangsdaten sicherzustellen. Hierdurch soll sichergestellt sein, dass immer eine Beziehung zwischen Simulationsauswertungen und Eingangsdaten besteht.

## 4.2 Modularisierung von Auswertungen und Kennzahlenermittlung

Die Modularisierung von Auswertungen und Kennzahlen kann den Transfer beider Elemente in neue Simulationsmodelle erleichtern. Da Ergebnisdatenbasis und Analyseziele häufig ähnlich oder sogar gleich sind, kann hierdurch Aufwand gespart werden. Außerdem wird hierdurch die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse gesteigert.

Der Projektpartner FLW systematisierte deshalb die verschiedenen Auswertungen und Kennzahlen und stellte auf diese Weise einen Baukasten für die Erstellung einer Simulationsauswertung zusammen. Beschrieben wird dieser Baukasten in Abschnitt 4.2.1 des Abschlussberichts der FLW.

Um den Anwender bei der Umsetzung von Simulationsauswertungen weiter zu unterstützen, entwickelte das CMT ein Referenzmodell. Hierfür wurde wieder die Ähnlichkeit der Analysezielsetzung genutzt. Ausgehend vom Referenzmodell erstellte das CMT einen Leitfaden für das Auswertungsvorgehen (Abschnitt 4.2.2).

Das Ergebnis des vierten Arbeitspakets ist eine Systematik, die den Anwender und Simulationsexperten bei der Erstellung und Nutzung von Analysen auf Basis von Simulationsergebnissen unterstützt. Hierdurch sinkt der Aufwand bei der Nutzung des Simulationswerkzeugs und das Potenzial der Simulation konnte gesteigert werden.

## 5 Validierung und Verifikation

Wenn für die Planung und Steuerung komplexer Inhalte Modelle zu erstellen sind, stehen die Ersteller dieser Modelle vor der Herausforderung, diese hinreichend genau und doch einfach genug zu realisieren. Damit diese Modelle jedoch zur Beurteilung der komplexen Inhalte verwendet werden können, stellt sich Auftraggebern, Modellierern und Anwendern immer die Frage nach deren Glaubwürdigkeit. Hierbei sind vor allem die Modellersteller diejenigen Personen, die diese Glaubwürdigkeit realisieren müssen.

Glaubwürdigkeit von beliebigen Modellen lässt sich über die verschiedenen Schritte der Modellerstellung nur durch korrekte und systematische Validierung und Verifikation (V&V) realisieren. Beide Begriffe werden in der Literatur meist sehr allgemein beschrieben, was eine direkte Anwendbarkeit für den Modellierer erschwert. Für die V&V in der Simulation von Produktions- und Logistikprozessen werden die verschiedenen Definitionen durch [6] zusammengefasst.

### Validierung

*Validierung ist die Überprüfung, ob ein Modell von einer Beschreibungsart in eine andere Beschreibungsart korrekt transformiert wurde.*

### Verifikation

*Verifikation ist die kontinuierliche Überprüfung, ob die Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems hinreichend genau wiedergeben.*

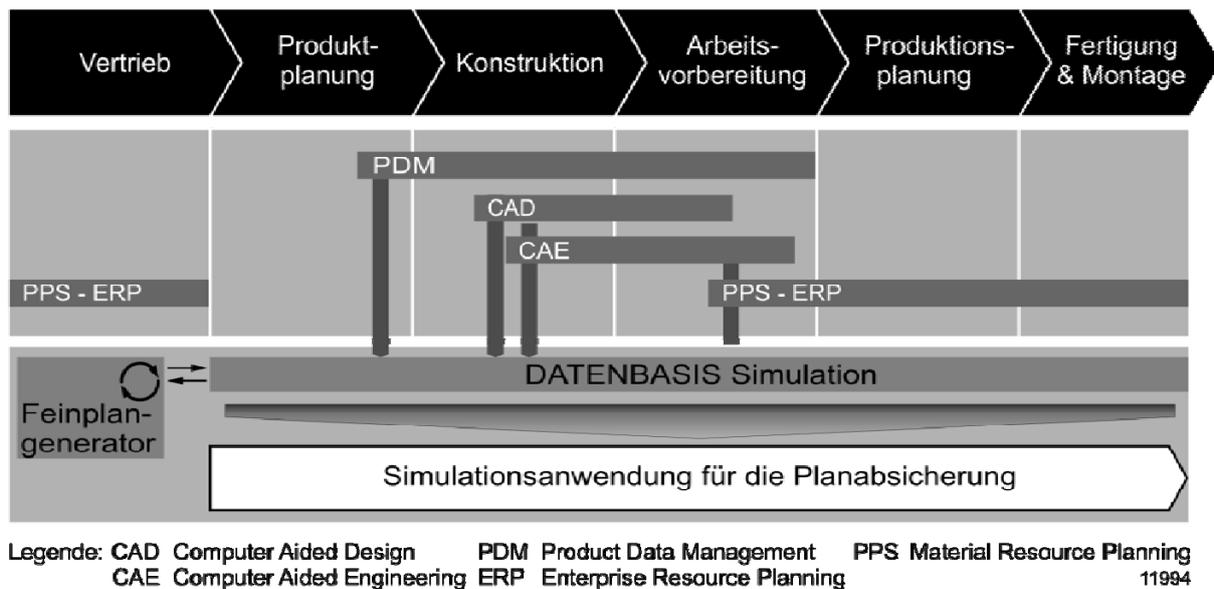
Hierbei besteht jedoch immer noch die Fragestellung, wie die beschriebenen Forderungen zu realisieren sind. Als Antwort hierauf wurde im Rahmen des Projektes GeneSim ein Kriterienkatalog erarbeitet, der dem Simulanten explizite Handlungsansätze aufzeigt.

## 5.1 Definition von Methoden zur Datenvalidierung

Daten bilden die Grundlage für die Erstellung von Simulationsmodellen und für die Durchführung von Simulationsexperimenten. Richtige Daten sind somit eine notwendige Bedingung, um die Simulation als Werkzeug nutzen zu können. Um nur richtige Daten zu verwenden, muss der Datenbestand geprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Das Ziel des folgenden Kapitels ist es, eine allgemeine Methode für die Datenvalidierung vorzustellen. Ausgangspunkt ist hierbei eine Analyse der Datenarten. Anschließend werden Fehlerarten definiert und auf dieser Basis eine Systematik zum Ableiten von Kriterien vorgestellt. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einem expliziten Beispiel, anhand dessen die Anwendung der Kriterien nachzuvollziehen ist.

### 5.1.1 Formulierung von Datenvaliditätskriterien

Die benötigten Daten werden in unterschiedlichen EDV-Systemen erzeugt. Hierzu zählen beispielsweise Systeme, die die Design- und Konstruktionsphase begleiten, Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme, Systeme für die Betriebsdatenerfassung und Materialstammdatensysteme (vgl. Abbildung 8).



**Abbildung 8: Die verschiedenen Datenquellen im Produktlebenszyklus**

Dieser große Umfang an Datenquellen wird erweitert durch die Systeme von Zulieferern. Speziell im Schiffbau sind viele Unternehmen an der Produkterstellung beteiligt. Diese Unternehmen setzen unterschiedliche EDV-Systeme ein. Deshalb liegt sowohl über den Produktlebenszyklus als auch über die an der Produktentstehung beteiligten Unternehmen betrachtet eine heterogene Datenlandschaft vor.

Alle diese EDV-Systeme liefern Daten für die Simulation. Daten müssen somit aus Datenquellen ausgelesen, eventuell aggregiert oder transformiert und anschließend in der Datenbank für Simulationsdaten (SDB) eingelesen werden. In der Simulationsdatenbank werden die Daten wiederum bearbeitet. Typisch ist:

- die Kombination von Daten unterschiedlicher EDV-Systeme,
- die Anpassung von Formaten und Speicherformen auf die von der Simulation bedingten Formate und Formen sowie
- die Aggregation von Daten für spezifische Simulationsproblemstellungen.

Fehler in den Simulationsdaten können sowohl in einem beliebigen der Schritte entstehen oder bereits in den ausgelesenen Quelldaten vorgelegen haben. Die Anzahl der Datenquellen und die Stellen, an denen Fehler entstehen können, sind somit sehr vielfältig. Ein weiterer Grund für die Validierung in der Simulationsdatenbank liegt in den Daten selbst. Diese lassen sich leichter validieren, wenn sie nicht als kontextfreie Einzeldatensätze vorliegen, sondern kombiniert (als Tupel oder Entitätenmenge).

Die Fehler dagegen lassen sich auf einen relativ einfachen Zustand reduzieren. Da alle Daten durch Einträge in Tabellen repräsentiert sind, kann man konstatieren, dass ein Fehler vorliegt, sobald ein Tabelleneintrag nicht der Realität bzw. dem gewünschten Wert entspricht. Diese scheinbar einfache Betrachtung erschwert jedoch die Fehlersuche. Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt der Begriff Fehler differenzierter betrachtet.

### 5.1.1.1 Typische Fehler und ihre Merkmale innerhalb der Struktur einer Simulationsdatenbank

Die einfache Fehlerbetrachtung führt zu der Fragestellung, in welcher Form ein fehlerhafter Eintrag in einem Datenfeld vorliegt. Drei Möglichkeiten sind denkbar:

- es gibt keinen Eintrag (leeres Datenfeld)
- es gibt einen Eintrag, der nicht dem gewünschten Eintrag entspricht
- es gibt überzählige Daten

Alle Fälle können zu einer fehlerhaften Simulationsaussage oder einem Simulationsabbruch führen. Dies hängt von der Verwendung des Eintrags ab. Für die Fehlerbetrachtung ist dies nicht wichtig. Um beide Fälle zu vermeiden, muss jedoch bestimmt werden, welche Gründe zu einem leeren oder fehlerhaften Eintrag in einem Datenfeld führen. In Abbildung 9 sind die verschiedenen Möglichkeiten zusammengefasst.

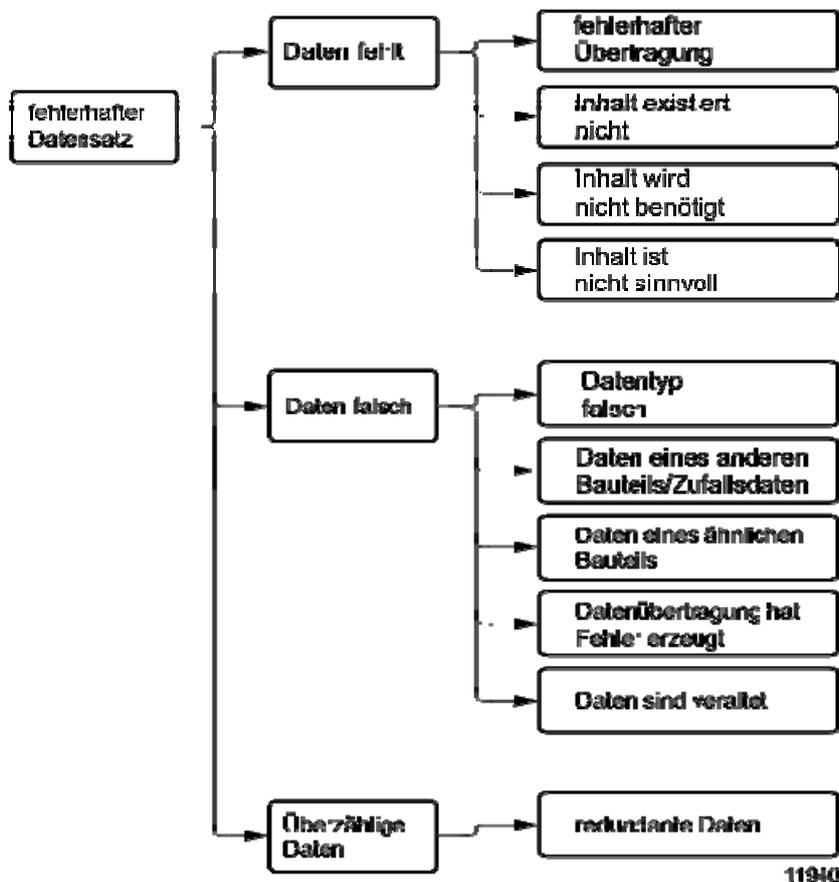


Abbildung 9: Gründe für Fehler in einem Datenbankeintrag

#### Ein fehlender Eintrag

Ein fehlender Eintrag (leere Zeichenkette) kann aus einer fehlerhaften Übertragung oder Datentransformation resultieren. Dieser Fehler sollte durch das Datenbank-Management-System (DBMS) abgefangen werden. Ein solches System definiert, wie und unter welchen Bedingungen Änderungen an den Daten vorgenommen werden dürfen. Wird eine Änderung falsch ausgeführt, wird diese durch das DBMS wieder rückgängig

gemacht. Der fehlende Eintrag stellt somit einen Fehler dar, der schon beim Entwurf der Datenbank berücksichtigt werden muss.

### Eintrag existiert nicht

Ein nicht existierender Eintrag ist ein typischer Zustand für einen stark parallelisierten Produktentstehungsprozess. Hier werden häufig Einträge erst kurz vor der Verwendung generiert, da die Zeit im Vorfeld nicht ausreicht, um ein vollständiges digitales Produktmodell zu generieren. Solch ein fehlender Eintrag wird in einer Datenbank mittels Nullwert dokumentiert. Nullwerte sind jedoch in Datenbanken möglichst zu vermeiden. Speziell für Fremdschlüssel muss sichergestellt werden, dass kein Nullwert vorliegt. Dennoch stellen sie bei Attributen ein sinnvolles Konzept dar. Nur mit einem Nullwert kann festgelegt werden, dass für ein Attribut noch kein Wert bekannt ist.

Nullwerte lassen sich zusätzlich nach „Typ1: value at present unknown“ und „Typ2: property inapplicable“ unterscheiden [7]. Der Typ1 entspricht dem bereits beschriebenen Wunsch, ein noch nicht existierendes Attribut zu kennzeichnen. Der Typ2 tritt auf, wenn in einer Tabelle Attribute modelliert werden, die später für bestimmte Tupel nicht mit Daten gefüllt werden. Der Typ2 ist ein typisches Beispiel für einen Nullwert, der vermieden werden sollte und bei der Datenbankentwicklung beeinflussbar ist.

### Es liegt kein sinnvoller Eintrag vor

Sinnfreie Einträge entstehen, wenn Attribute ungeschickt zugeordnet werden. Um allgemein Bauteile zu beschreiben, werden Attribute gesammelt und in einer Entitätenmenge zusammengefasst. Diese Attribute sind beispielsweise Länge, Höhe, Breite, Gewicht. Diese Attribute sind sinnvoll, wenn hiermit eine ebene Platte beschrieben werden soll. Zum Beschreiben einer verformten Platte wären jedoch weitere Attribute wie Blechdicke und Verformungsgrad sinnvoll. Diese würden für eine ebene Platte keinen Wissenszugewinn bedeuten.

Wenn mit derselben Entitätenmenge auch Rohre beschrieben werden, ist das Attribut Rohrlänge und Rohrdurchmesser notwendig. Diese Attribute lassen sich für eine Platte nicht sinnvoll füllen. Auch dieser Fehler ist durch eine entsprechende Datenbankgestaltung zu verhindern. Jedoch besteht das Dilemma, einerseits keine stark verzweigte Tabellenstruktur zu erzeugen. Andererseits müssen Tabellen mit Nullwerten bzw. sinnfreien Tupel-Elementen vermieden werden.

### Datentyp falsch

Falsche Datentypen können auftreten, wenn Attribute eines Tupels falsch zugeordnet werden oder der Zugriff auf ein Tupel falsch aufgebaut wird. Die erste Möglichkeit muss durch das DBMS abgefangen werden, indem dieses bei der Mutation von Daten eine Typprüfung durchführt.

Zugriffe auf die Datenbank dürfen nur über definierte Datenmutationen realisiert werden. Deren Entwurf bedarf großer Sorgfalt, um einen fehlerhaften Zugriff auf Attribute zu verhindern. Wenn der zweite Fall nicht durch eine fehlerfreie Datenmutation verhindert wird, kann ein solcher Fehler nur noch durch Methoden verhindert werden, die einen bestehenden Datenbestand prüfen.

### Daten eines anderen Bauteils/ Zufallsdaten

Falsche Daten können durch die Eingabe formal korrekter, aber inhaltlich falscher Daten entstehen. Dieser Fall tritt beispielsweise auf, wenn einer Bauteilnummer die Attributwerte eines anderen Bauteils zugeordnet werden. Hierbei wird vorausgesetzt, dass die Daten dennoch zu der Struktur des Tupels passen und auch die Datenmutation korrekt auf der Datenbank ausgeführt werden kann. In diesem Fall liegt ein Fehler vor, der durch die Validierung gefunden werden muss.

### Daten eines ähnlichen Bauteils

Dieser Fehler führt zu einer nur marginalen Abweichung von Attributwerten, da Daten eines ähnlichen Bauteils in der Datenbank gespeichert werden. Ähnlichkeit liegt vor, wenn die Attribute von Teil A und von Teil B nur marginal voneinander abweichen. Fehler dieser Art resultieren aus der falschen Zuordnung gleicher Teile, fehlerhaften Eingaben oder Rundungsfehlern bei der Datenspeicherung oder dem Datentransfer. Typischerweise haben geringe Abweichungen auch nur geringe Auswirkungen. In diesem Fall steht der Validierungsaufwand nicht im Verhältnis zum Nutzen und der Fehler wird im Datenbestand verbleiben. Jedoch ist es möglich, dass ein solcher Fehler zu deutlichen Abweichungen in den Simulationsergebnissen führt oder gar die Simulation abbricht. In diesem Fall ist es notwendig, die Simulationsergebnisse zu validieren bzw. zu hinterfragen.

### Datenübertragung mit Fehler

In diesem Fall ist zwar eine fehlerfreie Datenmutation mit richtigen Daten ausgeführt worden, dennoch liegen anschließend fehlerbehaftete Daten in der Datenbank bzw. der Simulation vor. Dieser Fall muss eigentlich durch das DBMS verhindert werden. Dennoch können Fehler, die auf diesem Weg entstehen, mit denselben Validierungsmethoden gesucht werden wie aus den Gruppen „Daten eines anderen Bauteils/ Zufallsdaten“ und „Daten eines ähnlichen Bauteils“.

### Daten sind veraltet

Die Aktualität der Daten stellt ein allgemeines Problem dar. Im Schiffbau wird dieses durch die Parallelität von Entwurf/Konstruktion und Produktion verstärkt, da stetig an den Produktdaten gearbeitet wird. Hieraus folgt, dass die Aktualität für den gesamten Produktentstehungsprozess überwacht werden muss. Für die in der Simulation verwendeten Daten führt dies zu mehreren Fehlermöglichkeiten:

- I. Daten liegen noch nicht vor und müssen generiert werden, um die Simulation zu ermöglichen. Schätzdaten können deutlich von den später erzeugten Daten abweichen. Simulationsergebnisse müssen entsprechend als „möglicherweise fehlerbehaftet“ betrachtet werden. Eine klare Markierung von Simulationsabläufen mit Schätzdaten ist hierfür notwendig und muss beim Entwurf der Datenbank bereits berücksichtigt werden.
- II. Es werden nicht die aktuellsten freigegebenen Daten für die Simulation verwendet. Dieser Fehler entsteht, wenn keine synchrone Datenhaltung vorliegt. Diese ist zwingend sicherzustellen. Ist dies nicht möglich, muss die Synchronisierung von Quelldaten und der Simulationsdatenbank (SDB) immer bei deutlichen Abweichungen von simulierten und realen Zuständen im Produktionsfortschritt durchgeführt werden. Ist mit der Synchronisierung ein hoher Aufwand verbun-

den, muss es das Ziel sein, diesen zu minimieren, indem nur Daten die bearbeitet wurden, synchronisiert werden. Dies verringert den Aufwand deutlich, setzt jedoch ein Verwaltungssystem für die Erfassung von Veränderungen voraus, das mit dem DBMS des SDB zusammenarbeiten kann.

- III. Vermeintlich aktuelle Daten führen zu einer Inkonsistenz. Dieser Fall tritt auf, wenn Bauteil A Bedingungen an Bauteil B stellt und geändert wurde, die Anpassung von Bauteil B jedoch noch nicht erfolgt ist. Da zwischen Bauteilen Zirkelbezüge bestehen können, kann dieser Fall nur sehr schwer ausgeschlossen werden. Ein Ansatz wäre, diese Bedingungen als Metadaten im Konstruktionsprozess abzubilden und Freigaben für diese Art der Bauteile nur kombiniert zu erteilen. Dieses ist jedoch ein generelles Problem, das nicht erst in den Simulationsdaten behoben werden muss.

Möglichkeit I ist der einzige der genannten Fehler, der sowohl ursächlich in der SDB entsteht als auch behoben werden muss.

#### Daten sind redundant

Redundanzen können einerseits ein strukturelles Problem der Datenbank sein. Hierbei sind Tabellen der Datenbank nicht so aufgebaut worden, dass Redundanzen in den Datensätzen ausgeschlossen werden. Dieser Fall wird an dieser Stelle ausgeschlossen, da die Normalisierung der Datenbank diesen Fall verhindert sollte oder die Redundanz mit Absicht gewählt wurde. Typisch für die Simulationsdatenbank sind Redundanzen, die aus generierten und erzeugten Daten resultieren. Generierte Daten sind Schätzdaten. Sie werden erzeugt, weil die realen Daten noch nicht vorliegen. Dies geschieht in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus. In späteren Phasen werden diese Daten durch die erzeugten realen Daten ersetzt.

Dieser Fehler kann durch die Datenmutation verhindert werden. Mutationen, bei denen generierte durch erzeugte Daten ersetzt werden, müssen eine redundante Datenhaltung verhindern. Sollten dennoch redundante Datensätze entstehen, liegt ein nur aufwendig lösbarer Fehlerfall vor.

#### Zusammenfassung der kritischen Fehlerarten

Die betrachteten Fehlerarten beschreiben das mögliche Spektrum an Fehlern, mit denen sich der Simulant konfrontiert sieht. Als kritisch sind diejenigen Fehler einzuordnen, die innerhalb der Simulationsdatenbank bzw. auf Grund der Datenbankstruktur entstehen. Die Fehlerarten, für die dies zutrifft, sind die folgenden:

- A) Eintrag existiert nicht
- B) Daten eines anderen Bauteil/ Zufallsdaten
- C) Daten eines ähnlichen Bauteils
- D) Datenübertragung hat Fehler erzeugt
- E) Daten sind veraltet

Diese Fehlerarten repräsentieren die allgemeine Form, in der Fehler in Daten auftreten. Für die Validierung ist es jedoch wichtig, spezifische Fehler zu identifizieren. Spezifische Fehler liegen nur in realen Datenbankeinträgen vor und lassen sich mit verschiedenen Prüfansätzen identifizieren:

Der einfachste Prüfansatz ist der Vergleich mit dem erwarteten Datenwert oder Datenwertebereich. Hierfür wird für jeden zu prüfenden Wert ein Vergleichswert definiert.

Anschließend durchsucht ein Algorithmus die Datenbank und vergleicht den jeweiligen Eintrag mit dem Vergleichswert (Ansatz 1) oder Vergleichsbereich (Ansatz 2).

Die Interpretation von Abweichungen (Ansatz 3) gegenüber den umgebenden Attributen oder Tupeln ist eine weitere Möglichkeit. Das Hüllvolumen eines Bauteils kann beispielsweise nicht größer sein als das Hüllvolumen der übergeordneten Baugruppe. Diese Form der Strukturuntersuchung ist teilweise sogar die einzige Möglichkeit, einen Fehler zu identifizieren. Wenn beispielsweise Bauteilhierarchien aufgebaut werden, lassen sich Fehler nur über die Analyse der beteiligten Bauteile bestimmen.

Die visuelle Prüfung (Ansatz 4) bildet den vierten Prüfansatz, um Datenbestände zu validieren. Dieser Ansatz setzt ein EDV-System voraus, das Informationen und Geometrie des Produkts darstellen kann. Hierdurch lassen sich falsche Zuordnungen, Überschneidungen und Fehlteile finden. Jedoch ist dieses Verfahren ein manueller Ansatz und sollte nur als letzte Möglichkeit zur Prüfung angewendet werden.

Der Prüfansatz Suchen in Bäumen (Ansatz 5) wird für die Überprüfung von Hierarchien verwendet und kann Zirkelbezüge aufdecken. Dieser Ansatz ist eingeschränkt auf diesen Einsatzbereich.

Die Datenmutation ist ein impliziter Prüfansatz (Ansatz 6). Veränderungen an den Daten der Datenbank sollten nur mittels Datenmutationen durchgeführt werden. Diese sind ein geprüftes und somit valides Vorgehen zur Datenveränderung. Teilweise werden Daten direkt verändert. Hierbei ist die Datenvalidität nicht sichergestellt.

#### 5.1.1.2 Fehlerbestimmung mit Hilfe von Kriterien

Die Ansätze für die Fehleridentifikation benötigen ein Kriterium, um die Prüfung durchzuführen. Dieses kann beispielsweise ein spezifischer Vergleichswert oder Vergleichsbereich sein oder die Definition, in welcher Form einzelne Attribute oder Tupel miteinander zu verknüpfen sind. Die Bestimmung eines solchen Kriteriums stellt die Herausforderung bei der Validierung dar.

In Abbildung 10 wird ein Dilemma bei der Bestimmung eines solchen Kriteriums dargestellt. Bei der Festlegung muss immer bestimmt werden, ob ein allgemein gültiges oder ein spezifisches Kriterium den Anforderungen entspricht. Außerdem ist ein „guter“ Algorithmus einem einfachen Wertevergleich vorzuziehen, da eine höhere Prüfgenauigkeit und ein geringerer Aufwand erreichbar sind. Dies gilt jedoch nur, solange sich beide Ansätze automatisieren lassen. Manuelle Prüfungen sollten möglichst vermieden werden. Außerdem darf der Gesamtaufwand für die Bestimmung eines solchen Algorithmus und die Umsetzung nicht den Aufwand einer einfacheren Vergleichswertprüfung übersteigen.

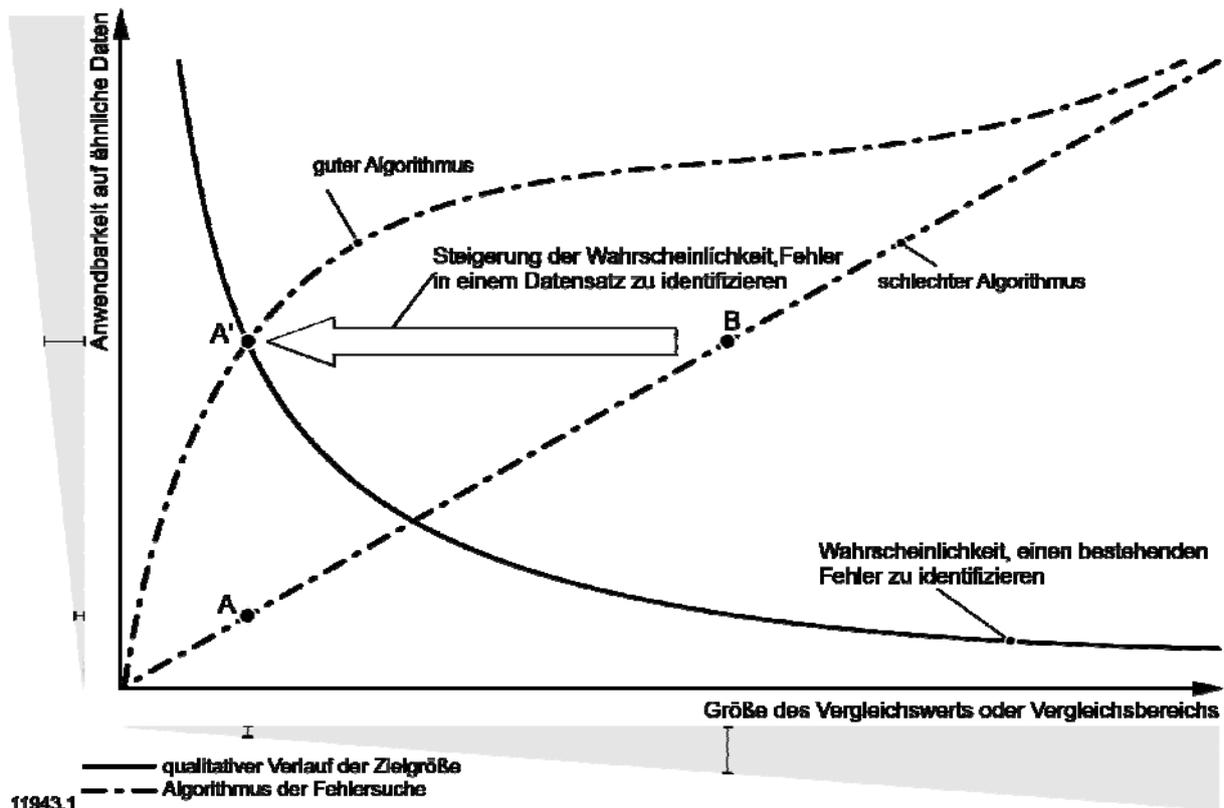


Abbildung 10: Dilemma der Bestimmung eines Vergleichskriteriums

### 5.1.1.3 Bewertung der Eignung von Prüfkriterien für die Untersuchung von bestimmten Fehlerarten

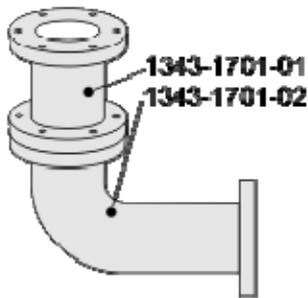
Prüfkriterien sind Merkmale, die für einen definierten Datenbestand festgelegt werden. Diese Festlegung ergibt sich aus drei Einflussfaktoren:

- das verwendete Prüfverfahren
- das zu prüfende Attribut
- der zulässige Prüfaufwand

Die einzelnen Prüfverfahren sind unterschiedlich gut geeignet für die Untersuchung der einzelnen Fehlerarten. Die Eignung ist anhand von Beispielattributen und spezifischen Prüfverfahren untersucht und mit einer Eignungsgröße bewertet worden:

- gute Eignung,
- bedingte Eignung und
- keine Eignung

Als Beispiel wird eine Rohrentität (Abbildung 11) mit folgenden Attributen verwendet: Baugruppennummer (1343-1701), Rohrdurchmesser (150 mm) und Subbaugruppe (1343-1701-01).



**Terminattribute**

- TAB<sub>...</sub> [15.03.2011]
- TAB<sub>...</sub> [16.03.2011]
- TEB<sub>...</sub> [16.03.2011]
- TEB<sub>...</sub> [18.03.2011]
- Liefertermin<sub>...</sub> [14.03.2011]
- Liefertermin<sub>...</sub> [16.03.2011]

**Bauteilinformationen**

- Länge [1m]
- Rohrlänge [1,5m]
- Breite [0,25m]
- Höhe [0,5m]
- Baugruppennummer [1343-1701]
- Durchmesser [150mm]
- Subbaugruppen [1343-1701-01]  
[1343-1701-02]

**Technologieinformationen**

- Montagestrategie [1]
- Ressourcen
  - Qualifikation [rb]
  - Anzahl [2]
  - Kran [300kg]
- Dichtheitsprüfung [ja]

11942.1

Abbildung 11: Beispiel verschiedener Attribute mit Datenwerten für eine Rohrentität

Fehlerart A (Eintrag existiert nicht)

Der Vergleichstest (Ansatz 1) sucht in der Datenbank nach leeren Feldern. Leer ist definiert als Feld mit dem Eintrag Null. Somit vergleicht der Ansatz 1 jedes Feld mit dem Wert Null. Das Kriterium ist in diesem Fall ein allgemeingültiges. Ein Problem ergibt sich aus der Struktur der Datenerzeugung. Diese sieht vor, dass Daten meist schrittweise über den Produktentstehungsprozess erzeugt werden. Somit wird dieser Ansatz in frühen Phasen des Prozesses eine große Menge an leeren Feldern finden. Aus diesem Grund wird der Ansatz mit „bedingt geeignet“ bewertet. Der Vergleichstest mit einem Wertebereich (Ansatz 2) wird ausgeschlossen (keine Eignung), da ein allgemein gültiges fixes Kriterium (Null) vorliegt.

Der Interpretationsansatz (Ansatz 3) kann die Null-Wert-Prüfung mit einem weiteren Kriterium kombinieren. Für die benannten Attribute ist das Datum des Produktionsstarts für das Arbeitspaket Rohreinbau denkbar. Zu einem deutlich früheren Zeitpunkt ist ein leeres Attribut kein Fehler, weil die Konstruktion des Teils zu diesem Zeitpunkt noch nicht stattgefunden haben kann. Gleichzeitig kann aus dem Ansatz 3 hier die Notwendigkeit zur Datengenerierung assoziiert werden. Aus diesem Grund wird der Ansatz mit „gute Eignung“ bewertet.

Die visuelle Prüfung ist per Definition für die Prüfung dieser Fehlerart nicht geeignet. Deshalb wird der Ansatz 4 mit „keine Eignung“ bewertet. Dasselbe gilt für die Baumsuche.

Für die Datenmutation muss das Kriterium „nicht Null“ gesetzt werden. In diesem Fall können Mutationen nur mit Dateneinträgen für diese Felder durchgeführt werden. Leere Felder sind somit nicht möglich. Dieser Ansatz setzt jedoch voraus, dass Felder immer gefüllt werden können. Unvollständige Datensätze lassen sich auf diesem Weg nicht erzeugen. Der Ansatz wird mit „gute Eignung“ bewertet. Ein Fehlerkriterium kann jedoch

nicht definiert werden, da der Ansatz den Fehler verhindert, indem Null-Einträge nicht zulässig sind.

#### Fehlerart B (Daten eines anderen Bauteil/ Zufallsdaten)

Wenn die Fehlerart B auftritt, ist die Abweichung vom richtigen Wert des Attributes beliebig groß. Für das Beispiel bedeutet das, das [TAB<sub>plan</sub> 15.03.2011] den Wert 31.06.2018 annehmen kann. Vergleichskriterien (Ansatz 1) wären der Endtermin des Arbeitspakets (25.03.2011), der Starttermin des folgenden Arbeitspakets, der Stapellauf, das Ablieferdatum (25.05.2012) oder ein beliebig gewähltes Datum. In diesem Fall würden alle Vergleichskriterien einen Fehler identifizieren. Bei einer geringen Abweichung von wenigen Tagen, würde keines der Kriterien den Fehler identifizieren können. Aus diesem Grund wird der Ansatz mit „bedingte Eignung“ bewertet. Für Ansatz 2 gelten die gleichen Überlegungen. Das Kriterium kann lediglich mit einer Spanne gewählt werden.

Für den Ansatz 3 wird eine Kombination verschiedener Vergleichskriterien genutzt (z.B. TAB<sub>Plan</sub> < TEB<sub>Plan</sub> und TAB<sub>Plan</sub> < TEB<sub>Plan\_Arbeitspaket</sub>). Diese Kriterien lassen sich allgemein für alle Attribute eines Typs definieren und dann für beliebige Datensätze nutzen. Aus diesem Grund wird der Ansatz 3 mit „gute Eignung“ bewertet.

Die visuelle Prüfung hat eine „bedingte Eignung“, da nur wenige Attribute untersucht werden können. Für eine Prüfung des Durchmessers wird die 3D-Geometrie mit dem Attribut verglichen. Dies manuell und visuell auszuführen ist aufwendig und nicht sinnvoll. Die Prüfung, ob das richtige Bauteil einer bestimmten Aktivität zugewiesen wurde, beschränkt sich auf den Abgleich der Örtlichkeit. Deutliche Abweichungen (falsches Modul, falsche Ebene) lassen sich so leicht finden. Der Ansatz 4 kann deshalb für einzelne Aspekte der Prüfung genutzt werden, die manuelle Komponente und die Beschränkung auf den verfahrensbedingten visuellen Ansatz setzen jedoch deutliche Grenzen.

Die Suche in Bäumen setzt eine hierarchische Struktur der Attribute voraus, die jedoch nur für wenige Attribute gegeben ist. So lassen sich Fehler in den Baugruppennummern mit dem Ansatz finden, Fehler in einer geometrischen Dimension von Bauteilen jedoch nicht, da diese nicht aufeinander aufbauen. Da der Ansatz nicht allgemein auf alle Attribute anwendbar ist, wird er mit „bedingte Eignung“ bewertet.

Die Datenmutation prüft die einzufügenden Daten nicht auf ihre inhaltliche Korrektheit. Da die Fehlerart B jedoch die formalen Bedingungen erfüllt, inhaltlich jedoch falsche Informationen in den Attributen speichert, kann die Datenmutation diesen Fehler nicht finden. Deshalb wird der Ansatz 6 mit „keine Eignung“ bewertet.

#### Fehlerart C (Daten eines ähnlichen Bauteils)

Die Fehlerarten B und C unterscheiden sich in der Spanne der Abweichung vom korrekten Wert. Während bei B diese Spanne beliebig groß ist, sind die Abweichungen für C nur sehr klein. Aus diesem Grund werden die Bewertungen der einzelnen Verfahren für C übernommen. Für die Bestimmung von Kriterien folgt jedoch, dass diese einerseits eine engere Spanne haben müssen, um Fehler finden zu können. Andererseits können diese engen Spannen nicht bei jedem Attribut angewendet werden. Stattdessen muss eine Auswahl getroffen werden, bei welchen Attributen bereits kleine Abweichungen zu kritischen Simulationsfehlern führen können. Für dieses Attribut wird die Prüfung auf die Fehlerart C durchgeführt.

### Fehlerart D (Datenübertragung hat Fehler erzeugt)

Diese Fehlerart erzeugt dieselben Fehler wie die Fehlerart B. Jedoch werden sie im Datenmutationsschritt erzeugt. Fehler dieser Art sollten nicht auftreten. Wenn sie dennoch vorkommen, können sie nur durch Datenvalidierung in der Datenbank gefunden werden, da sie vor der Datenmutation noch nicht bestanden haben. Bewertet werden die verschiedenen Suchansätze wie für Fehlerart B und C, da die Fehler, abgesehen vom Erzeugungszeitpunkt, gleich aussehen.

### Fehlerart E (Daten sind veraltet (1))

Die Prüfung muss die Fehlerart E erst zu einem bestimmten Zeitpunkt im Produktionsverlauf identifizieren. Dieser Zeitpunkt wird bestimmt durch den Wechsel von generierten zu erzeugten Informationen. Wenn nach diesem Wechsel generierte Informationen verwendet werden, muss das Prüfverfahren eine Fehlermeldung erzeugen.

Der einfache Vergleich von einzelnen Attributen mit Kriterien oder Kriterienbereich berücksichtigt die zeitliche Komponente nicht. Die beiden Ansätze 1 und 2 werde deshalb mit „keine Eignung“ bewertet.

Der Interpretationsansatz nutzt die Markierung der generierten Datensätze, um mögliche Fehler zu identifizieren. Datensätze, die nicht als generiert markiert sind, aber dennoch generierte Daten enthalten, können nicht durch den Ansatz gefunden werden. Für die markierten Datensätze ist jedoch die Identifikation sichergestellt. Diese werden anschließend mit einem weiteren Kriterium geprüft. Möglich wäre ein Vergleich von aktuellem Produktionsdatum und den geplanten Bearbeitungszeiten  $TAB_{Plan}$ . Wenn zwischen beiden Zeitpunkten eine Frist von ca. 5 Tagen unterschritten wird, müssten erzeugte Daten vorliegen. Für diese Daten muss somit der Fehler „veraltete Daten“ ausgegeben werden. Sollte der sich ergebende Zeitraum negativ werden, ist die ein Indikator für nicht gemeldete oder synchronisierte Verschiebungen im Datenbestand. Da der Interpretationsansatz solche verknüpften Bedingungen nutzen kann, wird er mit „gute Eignung“ bewertet.

Der Ansatz 4 wird mit „keine Eignung“ bewertet, da die generierten Daten noch keine 3D-Geometrie besitzen. Somit ist eine visuelle Analyse nicht möglich. Um den Ansatz nutzen zu können, müssten auch 3D-Geometrien generiert werden. Dies ist jedoch aufwendig. Dieser Aufwand kann reduziert werden, wenn sich Daten vorhandener Konstruktionen verwenden lassen. Auf diese Weise erreicht auch der Ansatz 4 eine bedingte Eignung.

Die Prüfung über die Datenmutation hat zwei Aspekte. Einerseits wird durch eine korrekte Funktion der Datenmutation ein häufiges und richtiges Aktualisieren unterstützt. Andererseits kann über die Datenmutation abgesichert werden, dass eine klare Trennung zwischen generierten und konstruierten Inhalten erreicht wird und dass diese Trennung auch im Datenbestand nachvollziehbar ist. Wenn für die Beispielenität Rohr bereits Termine geplant sind, jedoch die geometrischen Informationen noch erzeugt werden müssen, muss die Datenmutation prüfen, ob konstruierte Informationen vorliegen und die generierten gegen diese austauschen. Der Ansatz 6 stellt auch hier wieder einen indirekten Ansatz dar. Statt Fehler nach dem Auftreten zu identifizieren, wird ihr Auftreten durch entsprechende Suchstrategien bekämpft. Der Ansatz wird wegen seines

frühen Ansatzpunktes und der prinzipiellen Notwendigkeit, einen Datenmutationsansatz zu implementieren, mit „gute Eignung“ bewertet.

Für alle identifizierten Fehlerarten wurde detailliert beschrieben, wie hoch die Eignung der Ansätze ist, bestimmte Fehlerarten zu identifizieren. Die Zuordnung der Prüfverfahren mit der jeweiligen Eignung zu den verschiedenen Fehlerarten wurde in der Abbildung 12 noch einmal zusammengefasst.

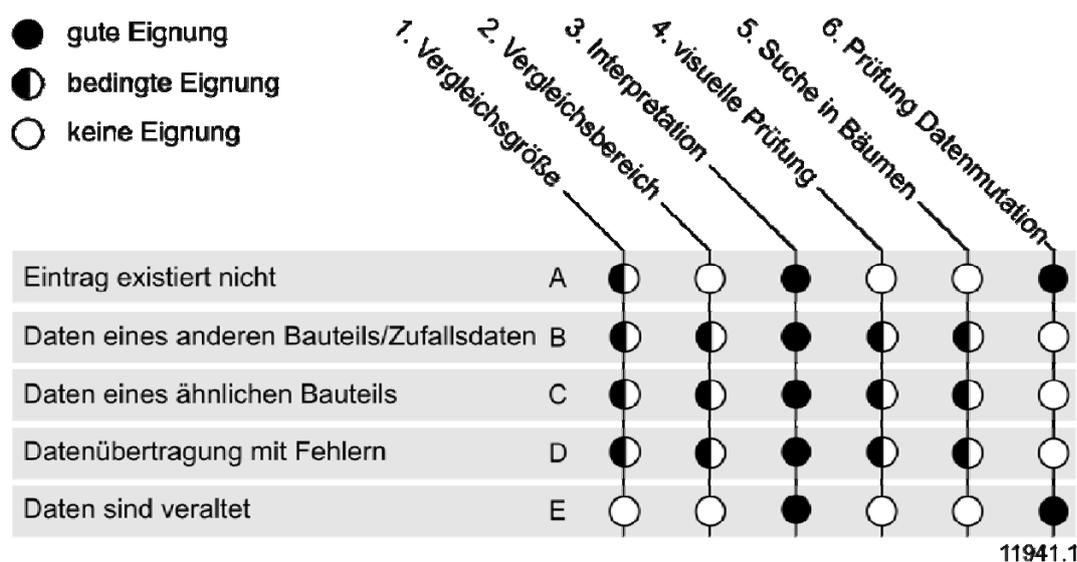


Abbildung 12: Verknüpfung von Fehlerarten und allgemeinen Prüfansätzen

Systematik für das Ableiten von Kriterien

In den vorangegangenen Abschnitten wurde detailliert auf die Bestimmung von Fehlern und Fehlerarten eingegangen. Anschließend sind unterschiedliche Kriterien und Prüfverfahren beschrieben worden. Hiermit ist die Basis für die Untersuchung der Daten geschaffen worden. Jedoch besteht noch immer kein systematisiertes Vorgehen, welches den Anwender unterstützt.

Ein solches Vorgehen benötigt neben den beschriebenen Aspekten noch einen Ansatz zur Abschätzung des Aufwandes für die Fehleridentifikation. Anschließend müssen die Ansätze in automatische Prüfverfahren überführt werden, so dass die Implementierung in die Datenbank erfolgen kann. Um den Gesamtansatz der Validierung und Verifikation von Daten in einen integrierten Ansatz zu überführen, ist es notwendig, einen Gesamtprozess zu entwickeln. Dieser Prozess muss die folgenden Punkte integrieren:

- Festlegen von Fehlerarten für den Datenbestand
- Prüfverfahren für die Fehlerarten definieren
- Kriterien der Prüfverfahren bestimmen
- Definition des Prüfzeitpunktes
- Automatisierung der Prüfung implementieren
- Validierungsprozess implementieren
- Prüfverfahren hinterfragen
  - Verfahren auf Zweckmäßigkeit prüfen
  - Prüfintervall hinterfragen

- Prüfkriterien evaluieren

Auf diese Weise wird dem Anwender ein Leitfaden für die Entwicklung eines integrierten Prüfansatzes gegeben, der einerseits die verschiedenen Gesichtspunkte systematisiert und andererseits explizite Beispiele und Hilfestellungen bei der Implementierung des Ansatzes bereitstellt.

## 5.2 Entwicklung von Verfahren zur Modellverifikation

In Abschnitt 5.1 sind die Eigenschaften von Prüfkriterien zur Absicherung der Datenvalidität detailliert diskutiert worden. Diese Daten bilden die Grundlage für korrekte Modelle, da auch Modelle, die der Wirklichkeit entsprechen, mit falschen Eingangsdaten nicht in der Lage sind, korrekte Ergebnisse zu erzeugen. Die Prüfung auf Validität ist in diesem Fall nicht möglich. Somit bilden die korrekten Eingangsdaten die Ausgangsbasis für die Verifikation von Simulationsmodellen.

Um ein systematisches Vorgehen bei der Modellverifikation sicherzustellen, hat der Projektpartner FSG Modellierungsfehler klassifiziert (Abschnitt 5.2.1). Ausgehend von dieser Klassifikation hat das CMT klassenspezifische Vorgehensweisen zur Verifikation ermittelt (Abschnitt 5.2.2.).

## 5.3 Entwurf von Methoden zur Modellvalidierung

Ziel der Modellvalidierung ist es, zu überprüfen, ob die im Modell abgebildeten Ursache-Wirkung-Zusammenhänge dem realen Geschehen entsprechen. Im Bereich der Softwaretests sind hierfür eine große Anzahl an verschiedenen Tests bekannt [8]. Knepell und Arangno benennen verschiedene Varianten von:

- Inspection tests,
- Demonstration tests sowie
- Analytical tests.

All diesen Ansätzen ist gemeinsam, dass sie Realdaten als Eingangswerte verwenden und die durch Simulation ermittelten Ausgangsdaten mit den realen Ausgangsdaten des simulierten Systems vergleichen. Bei hinreichender Übereinstimmung geht der Simulationsexperte davon aus, dass das erstellte Modell valide ist. Ein ähnlicher Ansatz wurde auch vom IPMT für die Prüfung der Modellvalidität angewendet.

### 5.3.1 Definition der erforderlichen Modellvalidität

Im Projekt GeneSim lassen sich keine Validitätskriterien finden, die sich allgemein auf die Simulation übertragen lassen. Dies resultiert einerseits aus der vorhandenen Datenwelt und andererseits aus der Modellierungsumgebung, die Restriktionen vorgibt. Diese spezifischen Restriktionen verhindern die Allgemeingültigkeit. Innerhalb der Modellwelt des STS (Simulation Toolkit Shipbuilding) sind die Bewertungskriterien jedoch allgemein nutzbar.

Allgemein anwendbare Prüfansätze werden von Rabe et. al. in [6] vorgestellt. Für die Entwicklung der Projekt/STS-spezifischen Methoden hat sich das IPMT an diesem Standardwerk orientiert und die Methoden auf den spezifischen Simulationsfall übertragen.

Im ersten Schritt der Methodenentwicklung haben die Projektpartner potenzielle Modellfehler identifiziert und zusammengetragen. Ausgeschlossen wurden Programmierfehler, die sich über eine Programmfehlermeldung identifiziert lassen.

Potenzielle Modellfehler sind:

- fehlende Ressourcen
- unvollständige Auswertungen
- falsche Prozessreihenfolge
- Animationsprobleme
- die Elemente werden nicht oder zum falschen Zeitpunkt erzeugt
- die Statusinformationen zu den Auslastungen werden falsch aggregiert
- die Modelltoleranz ist zu groß
- das Modell wird nicht richtig mit der Wirklichkeit synchronisiert
- ungeeigneter Einschwingzeitraum

Ausgangspunkt für die Prüfmethode ist ein valider und verifizierter Datenbestand, der als Eingangsdatensatz für die Simulation dient. Für diesen Datenbestand wird ein Erwartungswert formuliert, der sich am Ende der Simulation einstellen soll. Abhängig von der simulierten Situation kann dieser im absoluten Ergebniswert und in der Reihenfolge der Einzelwerte variieren. Der Simulationsexperte hat in diesem Fall zu untersuchen, ob die Abweichung vom Erwartungswert akzeptabel ist oder nicht.

Für die Formulierung der Erwartungswerte bestehen verschiedene Ansätze. Wenn für die Simulation Produktionsdaten aus der Vergangenheit zur Verfügung stehen, können diese für den Vergleich genutzt werden. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass das Modell in einen gleichwertigen Startzustand versetzt wird. Werden Abweichung vom Simulationsexperten festgestellt, ist sicherzustellen, dass die Anpassung des Modells nicht zu einer Modelloptimierung für den spezifischen Datenbestand führt. Dies kann sichergestellt werden, indem für jeden neuen Simulationslauf ein neuer Altdatenbestand verwendet wird.

Ein weiterer Ansatz zur Formulierung der Erwartungswerte ist der Abgleich mit dem Realbetrieb. In diesem Fall werden Simulationsmodell und Realität synchronisiert. Die in der Realität auftretenden Störungen und Abweichungen werden dokumentiert und nach einem vorher definierten Zeitraum werden das Simulationsergebnis und das Realergebnis verglichen.

Die größte Herausforderung für beide Ansätze ist es, einen sinnvollen Vergleich zu realisieren. Beispielsweise können Reihenfolgeabweichungen im Produktionsablauf für nicht detailliert geplante Schritte zu verschiedenen Zwischenergebnissen führen, die letztendlich jedoch auf sehr ähnliche Endergebnisse führen. In diesem Fall würde das Modell fehlerhaft erscheinen, obwohl kein Fehler vorliegt. Um diese Fälle abzufangen wurden die folgenden Methoden entwickelt:

#### Ressourcenmangel

Ressourcen die blockiert werden, stehen der Simulation nicht zur Verfügung. Über die Prüfung der Blockadezeiten lassen sich hier ungerechtfertigte Blockierungen identifizieren.

## Auslastungsprüfung

Wenn Ressourcen in der Simulation nicht zur Verfügung stehen, verzögert sich der Produktionsablauf. Um diesen Fehler auszuschließen, wird die Ressourcenverwendung und -verfügbarkeit geprüft. Dies lässt sich über die Auswertung der Nutzungs- und Leerlaufzeiten bestimmen.

## Simulationsdauern

Durch den Abgleich von Plan- und Ist-Terminen lassen sich Fehler in den Modellen identifizieren. Als problematisch erweist sich an dieser Stelle der Planungsdetailgrad. Der Simulant muss in der Lage sein zu unterscheiden, ob Abweichungen aus den abweichenden Detaillierungsgraden oder aus Fehlern resultieren. Für die Überprüfung der Übereinstimmung von Plan- und Ist-Terminen werden Durchlaufdiagramme oder Gantt-Charts verwendet.

## Tabellenabgleich

Durch den Vergleich von Tabellendaten können Abweichungen ebenso wie mit den Diagrammen gefunden werden. Der Anwender wird in diesem Fall jedoch durch eine spezielle Auswertetabelle unterstützt, die Abweichungen markiert. In Abbildung 13 ist eine solche Auswertung für den Plan-Ist-Vergleich von Einbauteilen dargestellt. Mit Hilfe der Comment-Spalte kann der Anwender die Unterschiede direkt identifizieren und einer eingehenderen Prüfung unterziehen.

string 1	datetime 2	datetime 3	string 4
Identnr	Plan	Ist	Comment
1-Großsektion-1	2012/02/10 06:11:43.8090	2012/02/10 06:11:43.8090	Order not found!
1-Sektion-1	2012/02/03 07:30:55.8110	2012/02/03 07:30:55.8210	OK
1-Sektion-2	2012/02/03 11:43:55.0110	2012/02/03 11:43:55.0210	OK
1-Sektion-3	2012/02/08 07:35:56.8110	2012/02/08 07:35:56.8210	OK
1-Sektion-4	2012/02/10 08:37:27.8350	2012/02/10 08:37:27.8350	Order not found!
1-Plattenfeld-1	2012/02/01 06:01:00.0110	2012/02/01 06:01:00.0210	OK
1-Plattenfeld-2	2012/02/01 06:01:00.0110	2012/02/01 06:01:00.0210	OK
1-Plattenfeld-3	2012/02/01 06:01:00.0110	2012/02/01 06:01:00.0210	OK
1-Plattenfeld-4	2012/02/01 06:01:00.0110	2012/02/01 06:01:00.0210	OK
1-Plattenfeld-5	2012/02/03 07:02:59.8100	2012/02/03 07:02:59.8200	OK
1-Plattenfeld-6	2012/02/03 08:01:14.6100	2012/02/03 08:01:14.6200	OK
1-Plattenfeld-7	2012/02/03 10:41:53.4100	2012/02/03 10:41:53.4200	OK
1-Plattenfeld-8	2012/02/03 11:19:35.4100	2012/02/03 11:19:35.4200	OK
1-Plattenfeld-9	2012/02/07 12:17:59.8100	2012/02/07 12:17:59.8200	OK
1-Plattenfeld-10	2012/02/07 12:21:16.2100	2012/02/07 14:01:59.8100	OK
1-Plattenfeld-11	2012/02/08 07:08:07.2100	2012/02/08 07:08:07.2100	Order not found!

**Abbildung 13: Abweichungsuntersuchung in Tabellen**

Eine wichtige Erkenntnis der Methodenentwicklung war, dass die Validierung nicht ein einmaliger Prozess sein kann. Vielmehr gibt es während der Modellerstellung eine sehr intensive Validierungsphase. Im Verlauf der Nutzung muss das Modell dann jedoch regelmäßig hinterfragt und evaluiert werden. Validierung ist damit nicht nur eine Aufgabe des Simulationsexperten, sondern auch der Simulationsanwender. Diese müssen in der Lage sein, Modell und Daten zu prüfen und auf Plausibilität zu untersuchen.

## 6 Adaption der Szenariotechnik

Der Begriff der szenariobasierten Planung und Steuerung ist sowohl im Schiffbau als auch in der allgemeinen Literatur nicht eindeutig. Für den hier betrachteten Fall sind Szenarien plausible Darstellungen von möglichen Zukunftsentwicklungen. Ziel der szenariobasierten Planung ist es, effiziente und effektive Alternativen im Rahmen der Eventualplanung zu identifizieren. Diese werden anschließend unter dem Begriff Robustplanung zusammengefasst.

Auch der Begriff des Simulationsszenarios wird in der Literatur unterschiedlich verwendet. Abbildung 14 führt die grundlegenden Ansätze von Simulationsszenarios auf. Der Ansatz auf Basis der Szenariotechnik bildet eine mögliche Situation in der Simulation ab. Ziel ist es, äußere und innere Einflüsse auf das zu betrachtende System mit Hilfe der Simulation zu bewerten. Grundlage ist die Vorgehensweise der Szenariotechnik [9], mit der aus Entwicklungstendenzen und Prognosen die Einflüsse auf die Szenario- und Gestaltungsfelder ermittelt werden.

	<p style="text-align: center;"><b>Szenariotechnik</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Daten- und Modellalternativen</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Anwendungs-/Systemkonzept</b></p>
<b>Elemente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einflussgrößen (Gestaltungsfeld)</li> <li>▪ Störgrößen (Szenariofeld)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Datenquellen</li> <li>▪ Datenstände /-versionen</li> <li>▪ Modelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systeminfrastruktur</li> <li>▪ Unterschiedliche Anwendungssysteme</li> </ul>
<b>Funktion</b>	<p>→ Konzepte zur Erstellung von Szenarien als Entwicklungstendenzen und Prognosen in Expertenrunden</p>	<p>→ Konzepte zur Bildung und Anwendung von Simulationsalternativen</p>	<p>→ Konzepte zur technischen Integration von Systemen</p>

11793

Abbildung 14: Ansätze für Simulationsszenarios (nach [10])

Die Szenariotechnik hat zum Ziel, die Unsicherheit in der Planungsgrundlage abzuschätzen. Dazu werden die unsicheren Faktoren als Einflussgrößen eines definierten Planungsproblems abgebildet und die Auswirkungen verschiedener Ausprägungen dieser Einflussgrößen untersucht. Das breite Anwendungsgebiet szenariobasierter Planungsmethoden zeigen die verschiedenen Ansätze zur Grobplanung [11], zur Produktionsprogrammplanung und zur Losgrößenbildung und Durchlaufterminierung [12].

In der szenariobasierten Planung und Steuerung im Schiffbau sind verschiedene Produktionsszenarios zu bewerten. Durch die Komplexität des Produkts und des Produktionsprozesses stoßen analytische Modelle schnell an ihre Grenzen. Daher ist das Erfahrungswissen für die Bewertung der Szenarios nicht zu ersetzen. Da bisher kein systematisches Modellierungs- und Bewertungsverfahren für die Simulation von Szenarios ver-

füßbar sind, sind spezielle Modellierungs- und Bewertungswerkzeuge für Produktionsprozesse zu entwickeln.

## 6.1 Vergleich von Simulationsszenarien

Um die Szenariotechnik strukturiert im Planungsablauf einsetzen zu können und als eine systematische Methode in den planungsbegleitenden Simulationssprozess zu integrieren, ist zunächst eine Typisierung der Szenarien durchzuführen. Für die verschiedenen Typen ist anschließend zu definieren, wie Auswertungen und Kennzahlen für den Szenariovergleich zu bilden sind.

### 6.1.1 Definition von Szenarioklassen und deren Systematik

Die Szenarien in der schiffbaulichen Planung und Steuerung basieren auf den Stell- und Einflussgrößen der jeweiligen Aufgabe. Für die Szenariosimulation sind die Stellgrößen die Parameter und die Einflussgrößen die Variablen einer Simulationsaufgabe. Da ein Simulationsszenario durch die Kombination verschiedener Stell- und Einflussgrößen zusammengesetzt wird, erfolgt die Systematisierung von Szenarien anhand der Stell- und Einflussgrößen.

Die Aufgaben der Planung und Steuerung leiten sich aus den Funktionen der schiffbaulichen Auftragsabwicklung ab; sie sind hauptsächlich den Abteilungen der Arbeitsvorbereitung sowie Fertigung und Montage auf einer Werft zugeordnet. Einen kleineren Teil, in dem jedoch der für den Produktionsprozess entscheidende Ablieferungstermin festgelegt wird, führt die schiffbauliche Angebotsbearbeitung bzw. Projektierung aus. Die technische Auftragsabwicklung im Schiffbau wird daher in die Funktionen der Angebotsbearbeitung, der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung (Produktionsplanung und -steuerung) unterteilt. Diesen Aufgaben ordnet Abbildung 15 die Stell- und Einflussgrößen zu. Die Stellgrößen beschreiben den Entscheidungs- und Handlungsspielraum. Im Gegensatz hierzu sind die Einflussgrößen Randbedingungen für die jeweilige Aufgabe und bilden u. a. die Unsicherheit in der Entscheidung ab.

Die technische **Angebotsbearbeitung** definiert zusammen mit dem Kunden das Produkt. Sie ermittelt außerdem den möglichen Liefertermin sowie die Schiffsgesamtkosten für die Preisbildung. Neben dem Ablieferungstermin des Schiffs legt die Angebotsbearbeitung auch die wesentlichen Ecktermine des Produktionsprozesses fest, wie z. B. den Konstruktions- und den Fertigungsbeginn. Hierzu stimmt sie mit den Lieferanten der Langläuferteile, wie z. B. der Hauptmaschine, die Zulieferungs- oder Montagetermine ab. Grundlage für die Grobterminierung sind Erfahrungs- und Schätzwerte für die Arbeitspakete des zu planenden Projekts und für die angenommenen Aufträge.

Die **Arbeitsplanung** setzt die Produktdefinitionen aus der Konstruktion in Arbeitspläne um. Sie berücksichtigt dabei die verfügbaren technologischen Verfahren und Abläufe. Viele Werften trennen die Arbeitsplanung nicht vollständig von der Arbeitssteuerung, um einerseits die Flexibilität der Produktionsprozesse zu erhalten und andererseits den Aufwand in der Planung zu minimieren. Insbesondere verwenden sie auftragsunabhängige Varianten von grundlegenden Produktionsabläufen als Basis für die auftragsabhängige Arbeitsplanung.

Aufgaben	Stellgrößen	Einflussgrößen
<b>Angebotsbearbeitung</b> <input type="checkbox"/> Grobterminierung <input type="checkbox"/> Projektplanung <input type="checkbox"/> Machbarkeitsprüfung	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Produktzusammenstellung</li> <li>● Liefertermin, Meilensteine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● angenommene Aufträge</li> <li>● aktuelle Kapazität</li> <li>● produktspezifischer Arbeitsaufwand</li> </ul>
<b>Arbeitsplanung</b> <input type="checkbox"/> Arbeitspaketgestaltung <input type="checkbox"/> Ablaufplanung <input type="checkbox"/> Materialbedarfsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Baumethoden</li> <li>● Arbeitsgangreihenfolgen</li> <li>● Arbeitspaketzuordnung (Rahmentermin)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● aktuelle Kapazitätsbelegung</li> <li>● unvollständige Produktdaten</li> <li>● Ressourcenverfügbarkeit</li> <li>● Produktionsstatus</li> </ul>
<b>Arbeitssteuerung</b> <input type="checkbox"/> Terminplanung <input type="checkbox"/> Durchlaufterminierung <input type="checkbox"/> Kapazitätsplanung <input type="checkbox"/> Produktionssteuerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Auftragsreihenfolgen</li> <li>● Kapazitätsbelegung</li> <li>● Arbeitszeiten</li> <li>● Ressourcenzuordnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ausfall von Ressourcen</li> <li>● Produktionsstatus</li> <li>● unvollständige Produkt- bzw. Plandaten</li> </ul>

11784

**Abbildung 15: Szenariobasierte Planungs- und Steuerungsaufgaben im Schiffbau (nach [10])**

Die **Arbeitssteuerung** setzt die Planungsvorgaben aus der Arbeitsplanung und der Angebotsbearbeitung um. Um die Arbeitspläne in Produktionsaufträge zu überführen, erstellt die Arbeitsvorbereitung eine Feinterminierung für definierte Arbeitspakete und bestimmt so die Fertigstellungstermine für die Fertigung. Dies ist die Grundlage für die Produktionsplanung der wesentlichen Kapazitäten, wie z. B. Personal oder Bauplätze. Die Produktionsplanung entscheidet auch über die Fremdvergabe von Arbeiten. Die Produktionssteuerung teilt die Ressourcen ein, um störungsbedingte Terminabweichungen durch kapazitätssteigernde Maßnahmen auszugleichen und so eine hohe Termintreue zu gewährleisten. Beispiele für kapazitive Maßnahmen sind z. B. die Anordnung von Wochenendschichten oder Überstunden. Zum anderen koordiniert die Produktionssteuerung Fremdarbeiter und Unterauftragnehmer, wie z. B. die Monteure des Hauptmaschinenherstellers.

Aus den Aufgaben der schiffbaulichen Auftragsabwicklung werden im Folgenden die in Abbildung 16 aufgeführten Szenariotypen für die Planung und Steuerung im Schiffbau abgeleitet und beschrieben.

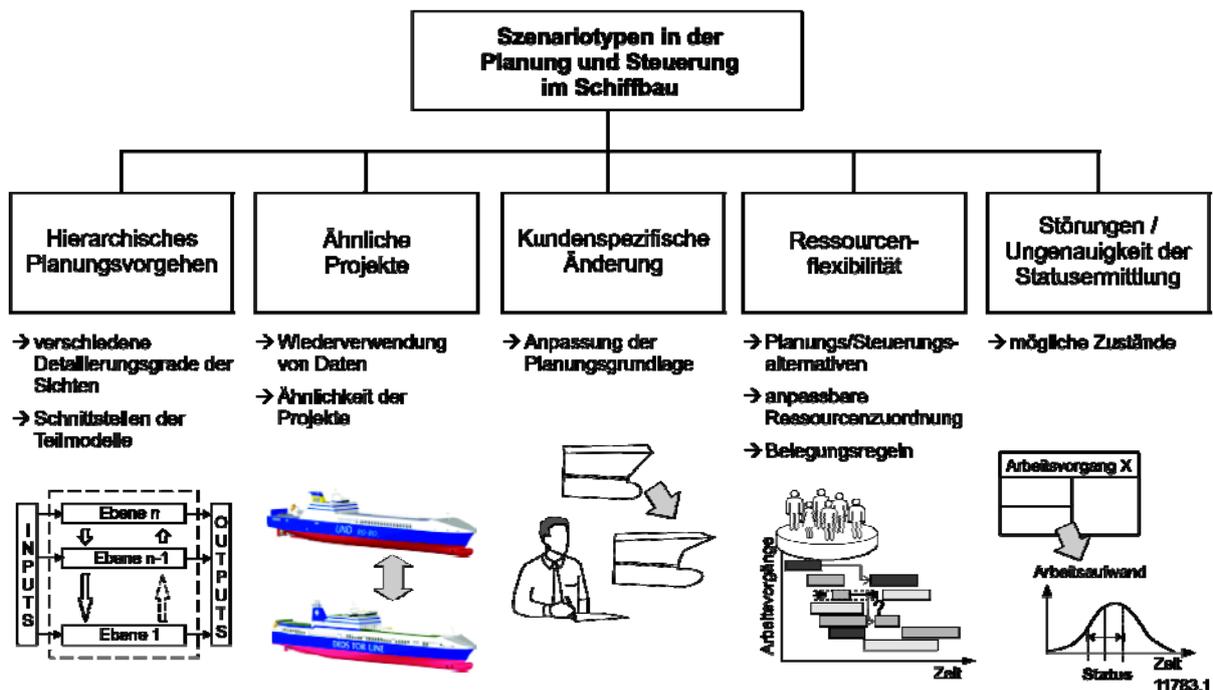


Abbildung 16: Szenariotypen der schiffbaulichen Planung und Steuerung (nach [10])

**Hierarchisches Planungsvorgehen:** Die Kundenorientierung des Schiffbaumarktes macht eine schnelle Angebotserstellung und Kalkulation erforderlich, um eine Kundenanfrage in kurzer Zeit und mit angemessener Genauigkeit mit einem Angebot zu beantworten und damit eine Abgrenzung zu möglichen Mitbewerbern zu erreichen. Die zentrale Aufgabe bei der Angebotserstellung ist die Produktspezifikation. Sie umfasst jedoch auch die Festlegung des möglichen Liefertermins und die Abschätzung der Kosten [13]. Die grobe Spezifikation und der in der Angebotsbearbeitung erstellte Netzplan werden in den Hierarchieebenen der Arbeitssteuerung in unterschiedlichen Detaillierungsgraden ausgearbeitet. Doch müssen zur Auftragsabwicklung die Rückmeldungen aus den untergeordneten Ebenen in ausreichender Weise wieder aggregiert werden können. Aus diesem Grund ist die Planung in verschiedenen Detaillierungsebenen zu unterstützen.

**Ähnliche Projekte:** Viele Werften passen ein schon gebautes Design für einen spezifischen Kunden an. Zum einen stellen sie dadurch sicher, dass die erforderlichen Kompetenzen und Technologien für den Bau des Schiffs in der Werft vorhanden sind. Zum anderen sparen sie durch die Wiederverwendung wesentliche Produkt- und Produktionsplanungskapazitäten ein, weil sie Planungsdaten nicht neu generieren müssen, sondern die Datengrundlage des bestehenden Projekts verwenden können [14]. Dies entspricht dem Ansatz der Ähnlichkeitsplanung.

**Kundenspezifische Änderungen:** Aufgrund der kundenspezifischen Änderungen am Entwurf sind Änderungen des bestehenden Arbeitsplans erforderlich. Diese Änderungen können einen wesentlichen Einfluss auf den Produktionsablauf haben. Neben der Erstellung neuer Produktionsunterlagen können auch veränderte Arbeitsabläufe zu einem terminkritischen Faktor bei der Auftragsabwicklung werden. Für die Arbeitsplanung ergibt sich damit die Anforderung, unterschiedliche Datenstände zu erzeugen und zu vergleichen.

**Ressourcenflexibilität:** Um die unterschiedlichen Kundenanforderungen zu erfüllen, ist eine hohe Flexibilität der Produktionseinrichtungen und Abläufe erforderlich. Zudem umfassen die Produktionsvorgänge eine große Anzahl verschiedener Fertigungs- und Montageverfahren, die nach Vertragsabschluss grob den Gewerken Stahlbau und Ausrüstung zugeordnet werden. Diese Trennung erfolgt, weil für die Ausführung der Arbeiten verschiedene Qualifikationen notwendig sind und technologische Randbedingungen berücksichtigt werden müssen; bspw. verhindern Schweißarbeiten die Ausrüstung des Schiffs mit Wandverkleidungen oder elektrischen Kabeln, da diese nicht hitzebeständig sind. Als Konsequenz für die Planung und Steuerung folgt deshalb, dass die Flexibilität der Produktionsprozesse auch in der Entscheidungsgrundlage abgebildet wird.

**Störungen und Ungenauigkeiten der Statusermittlung:** Die Komplexität eines Schiffbauprojekts erschwert es häufig, detaillierte Statusinformationen mit einem angemessenen Aufwand zu erfassen. Die Statusinformationen beschränken sich daher im Schiffbau vielfach auf die Fertigstellungstermine einzelner Knoten des Projektnetzplans. Eine detaillierte Statuserfassung wird einerseits erschwert durch die nicht eindeutige Zuordnung von Aufträgen zu Produktionseinrichtungen und andererseits durch Vergabe von Arbeitsinhalten an Lieferanten und Unterauftragnehmer.

Um den Nutzen der verschiedenen Szenarien zu zeigen, ist es notwendig, die Szenarien bzw. ihre Ergebnisse zu bewerten. Die Simulation bietet hierzu eine Möglichkeit. Der Vergleich von Szenarien schafft für den Simulationsanwender Transparenz, und vereinfacht bzw. systematisiert Auswahl eines günstigen Produktionsablaufs vereinfacht und systematisiert wird.

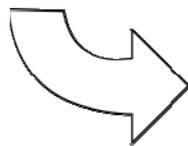
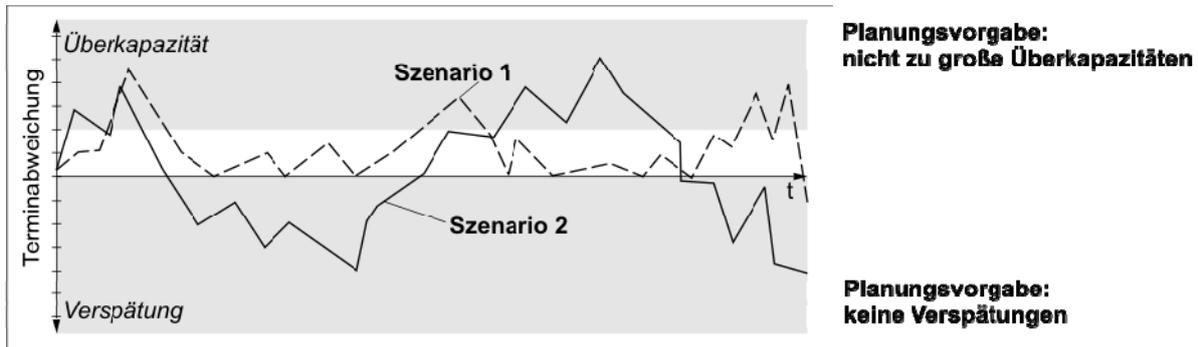
## 6.1.2 Entwurf von Auswertungen und Kennzahlen zum Vergleich von Szenarien

Der Szenarienvergleich ermittelt die Unterschiede in den Ergebnissen und der Spezifikation der Szenarien. Der Vergleich der Ergebnisse basiert auf den Auswertungen, die im folgenden Abschnitt erläutert werden, und ist Aufgabe des Simulationsanwenders. Er besitzt das planerische Know-how und ist in der Lage, die Ergebnisse entsprechend der spezifischen Fragestellung zu interpretieren.

### 6.1.2.1 Auswertung

Auswertungen stellen die Daten eines Simulationsszenarios übersichtlich dar und vereinfachen somit den Vergleich der Simulationsszenarien. Hierfür werden die Ergebnisdaten in grafischer (vgl. Abbildung 17) oder numerischer Form verdichtet und dargestellt. Die numerische Auswertung eignet sich vor allem für die Präsentation und Interpretation einfacher Werte oder Wertgruppen. Außerdem nutzt man die numerische Auswertung bspw. in der simulationsgestützten Optimierung, weil sich die Ergebnisse für die rechnerische Interpretation eignen. Daher sind zur numerischen Aufbereitung Funktionen zur Berechnung der Ergebnisqualität erforderlich. Diese Funktionen können entweder modellintern oder -extern zur inhaltlichen Verdichtung der Ergebnisdaten implementiert werden.

**Problemstellung:**  
Welches Szenario ist günstiger?



**Bewertung der Szenarien über:**

- Kumulation der Abweichungen außerhalb der tolerierten Bereiche (grau)
- durchschnittliche Terminabweichung pro Woche
- Terminabweichung zum Ende des Planungszeitraums

10984.1

**Abbildung 17: grafische Darstellung und numerische Auswertung (nach [10])**

Das Ziel der grafischen Aufbereitung ist die Einbindung des Anwenders und damit die Verbesserung der Verständlichkeit der Simulationsauswertung. Zur grafischen Aufbereitung sind verschiedene Darstellungsformen verfügbar, die sich in ihrer Anwendbarkeit und Aussagekraft unterscheiden. Für die Auswahl möglicher grafischer Darstellungsformen wird auf die Literatur verwiesen [2,15]. Grundsätzlich ist für eine detaillierte Analyse der dynamischen Vorgänge anhand der Entwicklung ausgewählter Parameter die grafische Aufbereitung vorzuziehen, um den Anwender bei der Interpretation zu unterstützen.

Abbildung 17 zeigt exemplarisch eine Auswahl der möglichen Auswertungen der Terminabweichung. So ist z. B. für die einfache Bewertung eines Szenarios der Durchschnitts- oder Mittelwert der Terminabweichung über eine Planungsperiode ausreichend, während für die detaillierte Analyse zeitlich begrenzter Maßnahmen die Entwicklung der Terminabweichung über den gesamten Planungszeitraum erforderlich ist. Daher sollen numerische Verfahren zur grundsätzlichen Auswertung genutzt und detaillierte Analysen durch grafische Aufbereitungsverfahren unterstützt werden. Für die Umsetzung des Szenarienvergleichs sind die Vor- und Nachteile der beiden Verfahren zu berücksichtigen.

### 6.1.2.2 Szenariospezifikation

Um die Unterschiede der Szenariospezifikation zu ermitteln, sind die Konfigurationen der Szenarien zu vergleichen. Dabei werden zwei grundlegende Herangehensweisen durch die Szenariobildung unterstützt:

- a) Abgleich der Erstellungshistorie von Szenarien
- b) Vergleich der Konfigurationshierarchie und ihrer Einzelbestandteile

Der Abgleich der Erstellungshistorie setzt voraus, dass entweder ein einheitliches Basis-szenario vorliegt oder die Szenarien voneinander abgeleitet wurden. Basisszenarien und ihre Eigenschaften werden von Wagner detailliert beschrieben [10]. In Fall a) können

die Unterschiede durch den Vergleich der Änderungen ermittelt werden. Dieses Vorgehen ist daher mit wenig Aufwand verbunden. Falls keine Abhängigkeit der Szenarien vorliegt (Fall b), müssen die Konfigurationshierarchien der Szenarien schrittweise danach untersucht werden, ob Unterschiede in der Konfiguration der Szenarien vorliegen.

## 6.2 Konzeption von Templates zur Bildung von Szenarien

Für die Szenariosimulation erstellt der Anwender Simulationsszenarien und passt sie an den spezifischen Planungsfall an. Die Integration dieser Szenariobausteine erfordert simulationsspezifische Kenntnisse darüber, ob und wie die Szenariobausteine zusammenpassen. Das ausgewählte Basiskonzept wird in den folgenden Abschnitten detailliert.

### Grundprinzip

Abbildung 18 stellt das Grundprinzip der Konfiguration mit Modulen dar. Es deutet schematisch an, wie ein Anwender einen Szenariobaustein mit der Konfigurationssystematik für ein Simulationsszenario auswählt, um ein Modellelement in einem Anwendungsmodell zu implementieren. Er wählt ein Teilmodell in einem dialoggesteuerten Verfahren aus. Dieses Verfahren soll die Erstellung konsistenter Simulationsszenarien unterstützen.

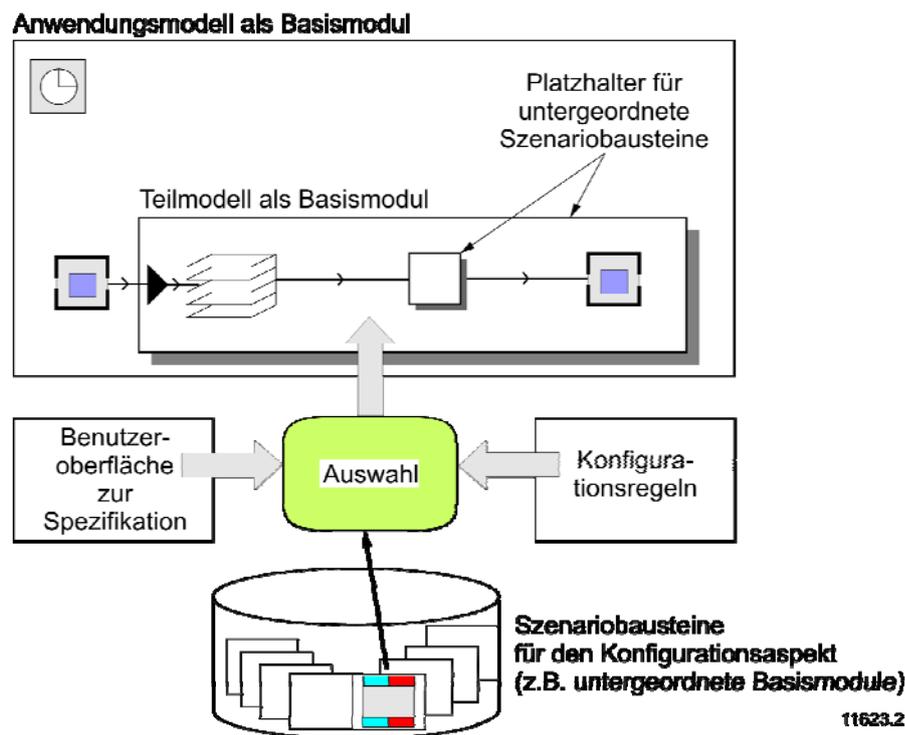


Abbildung 18: Grundprinzip der Konfiguration mit Modulen (nach [10])

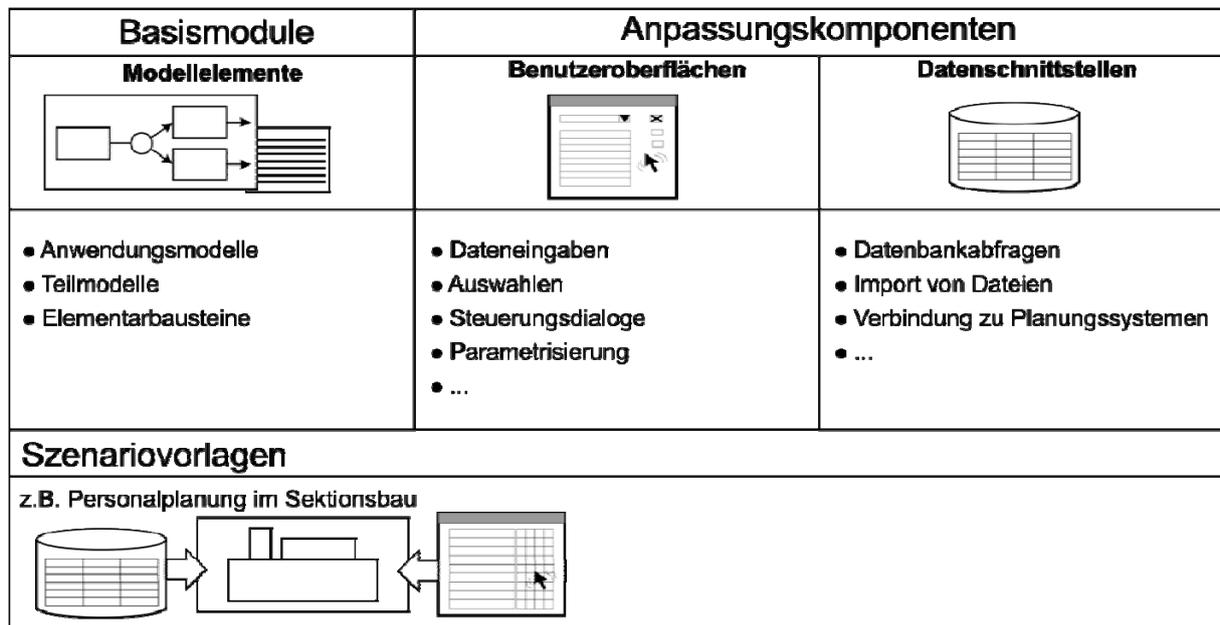
Beispielsweise kann der Anwender als grundlegendes Simulationsmodell für die Schiffs-ausrüstung den Ausrüstungskai erstellen; dieser enthält als Konfigurationsaspekt den Liegeplatz bzw. das auszurüstende Schiff. Die alternativen Teilmodelle der Gesamt-schiffsausrüstung werden wiederum in Konfigurationsaspekte für die Ausrüstungspro-

zesse der Decks unterteilt. Dadurch ist es möglich, ein Simulationsmodell in mehrere Hierarchiestufen zu unterteilen und modular aufzubauen.

Gemäß dem Ansatz der generativen Modellierung führen Konfigurationsregeln den Anwender, damit dieser die Szenariobausteine zu konsistenten und lauffähigen Simulationsszenarien zusammenstellen und anpassen kann. Diese Vorgehensweise kompensiert fehlende modellspezifische Kenntnisse. Zur Szenariokonfiguration wurden daher Szenariobausteine sowie ein regelbasiertes Konfigurationssystem entwickelt, das von den Simulationsexperten erweitert werden kann.

Das Prinzip regelbasierter Systeme besteht aus einer Wenn-Dann-Definition der Regeln. Die Regeln setzen sich aus einem Bedingungsteil und einem Aktionsteil zusammen. Der Bedingungsteil bezieht sich auf die zu überprüfenden Fakten; die Aktion wird durch das Erfüllen der Bedingungen einer Regel ausgelöst [16].

Bei der Erstellung eines Simulationsszenarios definiert eine Konfigurationsregel für eine Bedingung die auszuführende Aktion. Diese Aktionen sowie die Bedingungen sind im Wesentlichen von der Art des Szenariobausteins abhängig; z. B. wird bei der Auswahl eines Teilmodells der entsprechende Szenariobaustein in das Simulationsszenario eingesetzt. Zur Konfiguration von Simulationsszenarien eignet sich dieser Ansatz aus zwei Gründen: Zum einen sind durch die Konfigurationsregeln keine modellspezifischen Kenntnisse vom Simulationsanwender erforderlich. Zum anderen unterstützt die Unterteilung der Regelnetzwerke für jeden Szenariobaustein den modularen Aufbau der Szenarien.



11624

**Abbildung 19: Bausteine für die Konfiguration von Simulationsszenarien (nach [10])**

Die grundlegende Konfiguration eines Simulationsszenarios besteht aus den in Abbildung 19 aufgeführten Modellelementen, Datenschnittstellen und Benutzeroberflächen. Die Zusammenstellung der verschiedenen Szenariobausteine wird durch die definierte Konfigurationssystematik unterstützt. Die Modellelemente werden in generische und anwendungsspezifische Elemente unterteilt. Da die anwendungsspezifischen Modellelemente häufig Änderungen unterliegen, sind deren Konfigurationsmöglichkeiten er-

weiterbar zu gestalten. Aus diesem Grund werden die Modellelemente als Basismodule bezeichnet; zur Erweiterung werden sie um Anpassungskomponenten ergänzt, die u. a. Benutzeroberflächen und Datenschnittstellen umfassen.

### Basismodule

Zu Basismodulen werden die Szenariobausteine zusammengefasst, die einfach modularisierbar sind. Dies ist der Fall, wenn die Schnittstellen eindeutig definiert werden können und der Austausch von zwei Bausteinen weitgehend ohne modelltechnische Veränderungen der übergeordneten Elemente möglich ist. Nach der Funktion werden Anwendungsmodelle, Teilmodelle und Elementarbausteine unterschieden.

Die Anwendungsmodelle enthalten die simulationstechnischen Grundfunktionen, die für die Durchführung eines Simulationslaufs notwendig sind; insbesondere enthalten sie den Ereignisverwalter für die ereignisorientierte Zeit- und Ablaufsteuerung. Im Gegensatz dazu bilden Elementarbausteine ausschließlich Modellgrundfunktionen ab. Z. B. ermöglicht es der Methoden-Baustein, Steuerungsalgorithmen in die Simulation einzubinden. Teilmodelle umfassen zwar einige simulationstechnische Grundfunktionen, sind aber nicht allein lauffähig, sondern nur als Teil eines Gesamtmodells; sie sind damit den Anwendungsmodulen untergeordnet. Zusätzlich können Teilmodelle komplexe Modellfunktionen abbilden, die durch Kombination verschiedener Elementarbausteine erstellt werden. Dadurch können Simulationsszenarien unterschiedlicher Abstraktions- und Detaillierungsgrade in einer hierarchischen Modellstruktur erstellt werden: Zum einen können in einer flachen Modellhierarchie die zu simulierenden Bereiche vollständig modelliert werden, indem als Basismodul ein eigenständiges, simulationsfähiges Anwendungsmodell verfügbar ist. Zum anderen können die Simulationsmodelle aus hierarchisch geordneten Basismodulen zusammengesetzt werden. Daher muss die Komplexität unterschiedlicher Modellhierarchien in der Definition der Konfigurationsregeln berücksichtigt werden.

### Anpassungskomponenten

Eine Alternative ist die Auswahl vordefinierter Funktionen, die schon bei der Entwicklung des Basismoduls vorgesehen wurden. Den Anpassungskomponenten sind daher die Bausteine zugeordnet, die in die modelltechnische Struktur der Basismodule eines Simulationsmodells integriert sind und deren Austausch somit tiefgehende Veränderungen der Modellstruktur nach sich ziehen würde. Beispielsweise erfordert ein neuer Algorithmus für die Belegung von Bauplätzen eine Veränderung der internen Logik des Simulationsmodells bzw. des Szenariobausteins.

Anpassungskomponenten sind Benutzeroberflächen, Algorithmen und Datenschnittstellen, mit denen die Simulationsszenarien angepasst werden können. Der Anwender nutzt Benutzeroberflächen zur Parametrisierung und Steuerung der Simulationsmodelle sowie zur Aufbereitung, Interpretation, Auswahl und Spezifikation der Simulationsdaten in einem definierten Vorgehen, das die Konsistenz der Modelle und Daten sicherstellt. Algorithmen definieren die modellspezifische Ablauflogik und sind vielfach fest in die Struktur integriert. Datenschnittstellen sind Verbindungen zu Datenbanken und anderen datenführenden Systemen, über die Simulationsdaten eingelesen, aufbereitet und ausgelesen werden können. Die Funktion der Datenschnittstellen ist daher entweder die Datenbeschaffung für die Simulation oder die Ausgabe der Simulationsergebnisse. Für

die Simulation der Schiffsausrüstung an Bord werden die Prozessschritte, ihre Reihenfolgebedingungen sowie die Auftragsdaten benötigt.

Diese Daten können über eine Datenschnittstelle in das Modell eingelesen werden. Über die Identifizierung der Aufträge einer Planungszone kann auch das erforderliche Material bestimmt werden, wie z. B. die Anzahl der Wandpaneele einer zu verkleidenden Wand. Diese Daten werden in Form einer Montagestückliste für die Simulation aufbereitet. Zusätzlich werden bei der Planung und Steuerung Parameter wie das verfügbare Personal variiert, um das Planungsoptimum zu finden. Daher ist eine Benutzeroberfläche als Anpassungskomponente des Datenbausteins zu schaffen.

Die beschriebenen Basismodule und Anpassungskomponenten bilden die Bausteine, aus denen der Simulationsanwender die verschiedenen Untersuchungsszenarien erstellt. Nach welchen Regeln dies geschehen muss, wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

### 6.2.1 Definition von Vorgehenstemplates zur Szenariobildung

Vorgehenstemplates helfen dem Simulationsanwender bei der Szenarioerstellung. Gebildet werden sie über verschiedene Aspekte, die die Interaktion der Bausteine regeln. Aspekte stellen somit Schnittstellen dar, beachten jedoch zusätzlich den Kontext, in dem der jeweilige Baustein eingesetzt wird.

Modellaspekte beschreiben hierbei die Schnittstellen zwischen Teilmodellen und ermöglichen so verschiedene Detaillierungen. Datenaspekte beschreiben, wie Informationen für die jeweiligen Teilmodelle bereitgestellt werden und welche Daten für ein spezifisches Teilmodell nötig sind. Konfigurationsaspekte wiederum helfen die richtigen und notwendigen Einstellungen an den Bausteinen vorzunehmen und auch hierbei den Anwender zu führen. Funktionsaspekte beschreiben, wie die einzelnen Teilmodelle miteinander interagieren. Über sie werden Rahmenbedingungen und Stellgrößen für die Teilmodelle eingestellt.

Um den Anwender bei der Konfiguration zu unterstützen, muss der Experte diese Aspekte definieren. Für ein Regelnetzwerk sind die Regeln auf Redundanzen, Widersprüche und Vollständigkeit zu prüfen. Dazu wurde nach dem Ansatz der generativen Modellierung die Methode der Feature-Diagramme verwendet. Diese Diagramme ermöglichen es, die obligatorischen, optionalen und alternativen Konfigurationsregeln [17] für einen spezifischen Szenariobaustein hierarchisch darzustellen. Sie bilden über den Constraint-Ansatz auch nicht-hierarchische Abhängigkeiten ab. Die diagrammspezifische Baumstruktur stellt die Regeln übersichtlich dar, so dass diese mit relativ wenig Aufwand überprüft werden können. Dies vereinfacht die systematische Definition und Modellierung der Konfigurationsregeln. Zwar kann die Überprüfung des Regelsystems durch die übersichtliche Darstellung entscheidend unterstützt werden. Doch ist keine vollständige Fehlerfreiheit gewährleistet, so dass der Simulationsexperte bei auftretenden Regel Fehlern während der Erstellung der konkreten Simulationsszenarien benachrichtigt werden muss.

Der in Abbildung 20 exemplarisch dargestellte Aufbau der Feature-Diagramme basiert auf der Definition eines Konfigurationsaspekts. Ein Konfigurationsaspekt ist ein modularisiertes und eigenständiges Funktionsmerkmal eines Szenariobausteins, für das unterschiedliche Ausprägungen definiert sind. Für die simulationstechnische Umsetzung ist der Konfigurationsaspekt ein Platzhalter für einen oder mehrere untergeordnete

Szenariobausteine. Die Zuordnung der Szenariobausteine erfolgt hierbei über die Konfigurationsrolle, welche ein Attribut des Szenariobaustein ist. Die Unterscheidung der Szenariobausteine in Basismodule und Anpassungskomponenten beeinflusst die Definition des jeweiligen Konfigurationsaspekts.

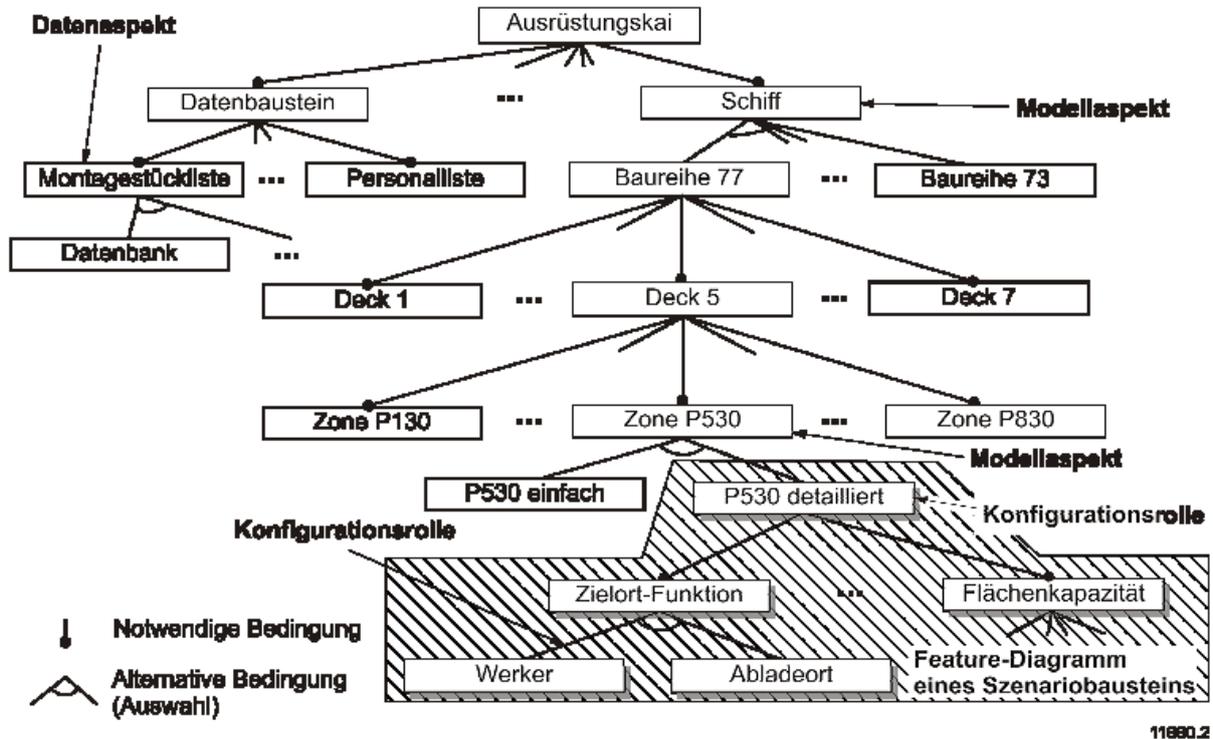


Abbildung 20: Modellierungsregeln des Feature-Diagramms für das Beispielszenario (nach [10])

Zur Auswahl und Anpassung von Basismodulen sind modellspezifische Kenntnisse erforderlich, die u. a. die interne Ablauflogik und die Aufbaustruktur des jeweiligen Modellelements umfassen. Um dies zu erleichtern, werden untergeordnete Basismodule über den Konfigurationsaspekt des Bausteins eingestellt. Der Konfigurationsaspekt für ein untergeordnetes Basismodul ist für dieses ein Modellaspekt. Ein Modellaspekt definiert somit einen Platzhalter für verschiedene Basismodule, die einen Bestandteil eines übergeordneten Basismoduls bilden. Das untergeordnete Basismodul ist daher in die Struktur des übergeordneten Bausteins zu implementieren, wie im Beispiel der Schiffs-ausrüstungssimulation das Teilmodell des Arbeitsorts Schiff in das Modell des Arbeitsorts Ausrüstungskai eingebunden ist. Voraussetzung für die Zusammenstellung von Basismodulen zu einem simulationsfähigen Gesamtmodell ist, dass

- die Modellaspekte strukturell eindeutig abgegrenzt sind und
- die Schnittstellen in die übergeordneten Bausteine integriert werden können.

Dazu sind z. B. die Materialflüsse zwischen den Basismodulen zu verbinden. Im Beispiel der Schiffs-ausrüstung wird das Teilmodell der Planungszone P530 mit dem Zugangsweg im übergeordneten Modell des Decks 5 verbunden.

Zur Modularisierung eines Basismoduls sind daher die Schnittstellen zu vereinheitlichen, um bei Änderungen der Struktur die Verknüpfungen und Verweise neu zu setzen oder anzupassen. Zum Beispiel erfordert eine Veränderung einer modellspezifischen Funktion das Ersetzen von Programmcode bzw. Methodentext. Die Schnittstellen in die-

sem Beispiel sind die erforderlichen Übergabevariablen und das Aufrufformat der Funktion; d.h. bei einer Änderung der Funktion sind Änderungen weder an den Übergabevariablen noch am Aufrufformat erlaubt, solange der gleiche Modellaspekt durch die Funktion abgedeckt werden soll.

Für das Beispiel der Schiffsausrüstung wird das Teilmodell des Arbeitsorts Schiff in Konfigurationsaspekte für die verschiedenen Decks unterteilt. Diese Konfigurationsaspekte werden wiederum durch Teilmodelle der Arbeitsräume für die Decksausrüstung besetzt, die sich in Aspekte unterschiedlicher Planungszonen untergliedern. Sie sind zum einen für ausgewählte Bereichstypen definiert, wie z. B. ein Aspekt für die Bordkantine. Zum anderen sind aber auch spezifische Bereiche als Aspekte definiert; bspw. sind das Zonen, die nur in Schiffen einer bestimmten Baureihe vorkommen. Somit kann ein Konfigurationsaspekt in einer Szenariokonfiguration mehrfach, aber für verschiedene Modellteile definiert sein. Jeder Konfigurationsaspekt eines Szenariobausteins umfasst dann zwar die allgemeinen Eigenschaften für mögliche untergeordnete Szenariobausteine, muss jedoch zusätzlich eindeutig spezifiziert werden. Diese Spezifizierung ist in der Entwicklung der Szenariobausteine zu berücksichtigen.

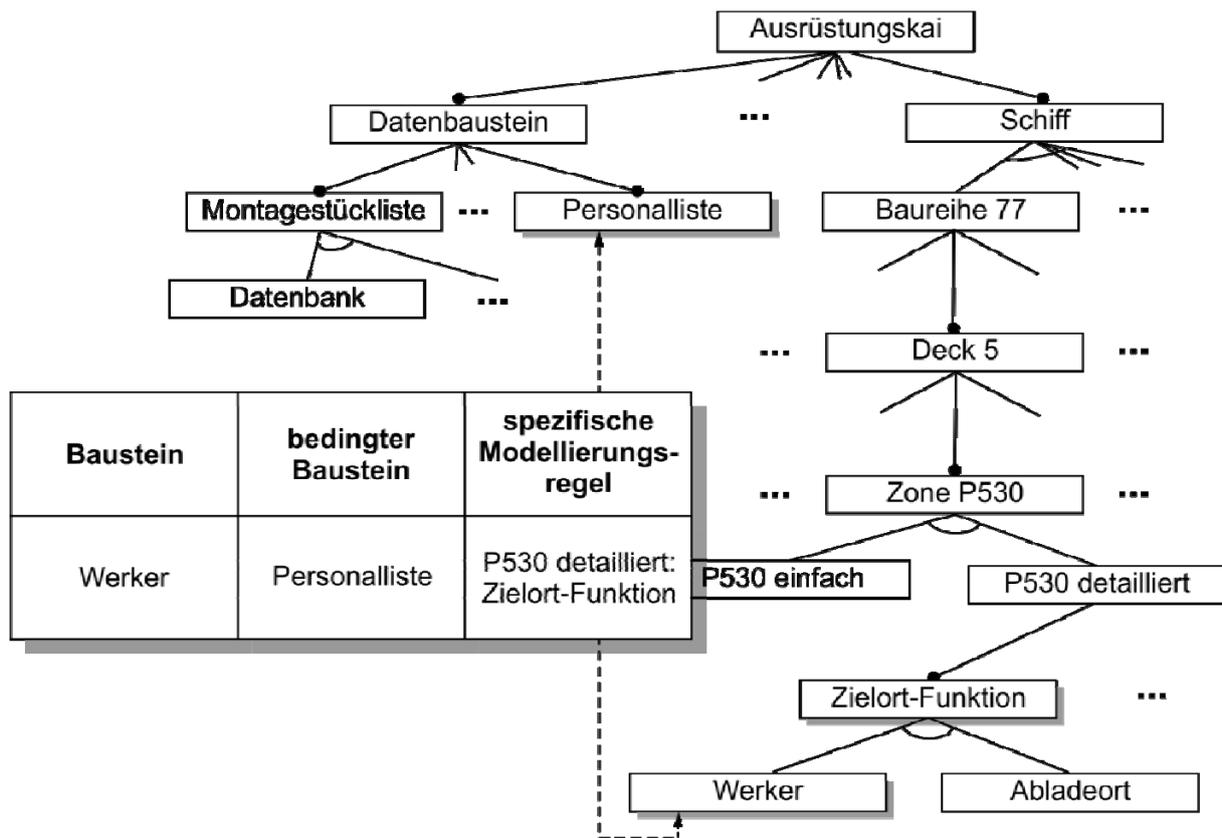
Die Konfigurationsaspekte für Anpassungskomponenten werden als Funktionsaspekt abgegrenzt. Eine Anpassungskomponente bildet einen Funktionsaspekt simulationstechnisch ab, kann aber verschiedene funktionelle Ausprägungen beinhalten. Die gewählte Ausprägung muss in der Anpassungskomponente aktivierbar und somit implementierbar sein. Simulationstechnisch ist eine Anpassungskomponente in ein Basismodul integriert und erlaubt so eine Veränderung der Ablauflogik des Basismoduls durch ihre Aktivierung. Bei der Entwicklung einer Anpassungskomponente ist ihre Beschränkung auf ausgewählte Basismodule zu definieren.

Die beschriebenen Modellierungsregeln helfen dem Simulationsanwender bei der Gestaltung und Anpassung eines Simulationsmodells. Mit dem Feature-Diagramm liegt außerdem eine Systematik für die Beschreibung dieser Regeln vor. Im folgenden Abschnitt wird hierauf aufbauend beschrieben, wie die Konsistenz dieser Regeln abzusichern ist.

### **6.2.2 Entwicklung von Regeln zur Erzeugung von konsistenten Simulationsdatenszenarien**

Die Erstellung der Simulationsszenarien bereitet der Experte durch die Konfigurationsregeln vor. Zusätzlich sollen Konsistenzregeln widerspruchsfreie und funktionierende Simulationsszenarien gewährleisten. Dazu wird im Folgenden die Methode der Feature-Diagramme verwendet (vgl. Abbildung 21).

Konsistenzbedingungen definieren die Voraussetzungen für konsistente Modelle und Daten. Sie umfassen notwendige und sich gegenseitig ausschließende Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Komponenten. Die Prüfung der Konsistenzbedingungen kann zum einen automatisierte Prozeduren zur Korrektur der Szenariokonfiguration auslösen oder Protokolle für den Benutzer des Systems erstellen, aus denen er die Konsistenzfehler des Simulationsszenarios entnehmen kann.



11823

Abbildung 21: Konsistenzregeln als Constraints in einem Feature-Diagramm (nach [10])

Die Konsistenzsicherung soll automatisiert durchgeführt werden und den Anwender bei der Konfiguration vollständiger und korrekter Simulationsszenarien unterstützen, indem sie erforderliche Bausteine in der Konfiguration ergänzt oder inkonsistente Kombinationen verhindert. Dazu muss der Simulationsexperte die modellspezifischen Abhängigkeiten zwischen den Bausteinen definieren können.

Die Konsistenzregeln können mit Hilfe von Constraints in Feature-Diagrammen modelliert werden. Abbildung 21 zeigt die Definition einer Konsistenzregel in einem Feature-Diagramm und ihre systematische Darstellung im tabellarischen Format. Der bedingende Baustein erfordert, wenn er durch eine spezifische Modellierungsregel in die Konfiguration eingesetzt wurde, einen bestimmten Baustein (den bedingten Baustein). Daher setzt sich eine Konsistenzregel aus dem bedingten und dem bedingenden Baustein sowie der Modellierungsregel zusammen. Im Beispiel aus Abbildung 21 benötigt der (bedingende) Baustein „Werker“ den (bedingten) Baustein „Personalliste“, wenn er über die Modellierungsregel des Modellaspekts „P530 detailliert“ in das Szenario eingebunden ist.

Durch diese Regeldefinition können alle Vorbedingungen systematisch erzeugt werden. Die Konsistenzregeln legen somit fest, welche Bausteinkonfigurationen zulässig sind und welche Elemente bestimmte Bausteine zwingend benötigen. Im Gegensatz dazu verringern ausschließende Bedingungen die Anzahl der möglichen Szenariobausteine für einen Konfigurationsaspekt: So schließt der Baustein x den Baustein y aus, was eine inkonsistente Modellierung verhindert.

Mit den bisher beschriebenen Methoden und Konzepten wird eine systematische Modellierung verschiedener Szenarien in der Simulation ermöglicht. Für die auf diesem Weg erstellten Modelle besteht jedoch immer noch die Fragestellung, wie sich zuverlässige Input-Informationen für diese Modelle bereitstellen lassen. Speziell für Szenarien, für die bisher beispielsweise noch keine Messungen von Durchführungszeiten ausgeführt werden konnten, besteht hier eine große Unsicherheit. Diese Unsicherheit systematisch zu handhaben ist schwierig.

Da die Fuzzy Logic in anderen Wissenschaftsgebieten bereits als systematischer Ansatz zur Handhabung von Unsicherheiten etabliert werden konnte, wird im folgenden Absatz die Möglichkeit der Fuzzy Logic-basierten Beschreibung solcher Unsicherheiten am Beispiel der Bearbeitungszeiten evaluiert.

### **6.2.3 Entwurf einer Fuzzy-basierten Methode zur Beschreibung von Szenarien**

In der Simulation und Planung schwer zu beantworten ist die Frage nach der Bearbeitungszeit. Die in der Fertigungssimulation ermittelten Arbeitszeiten weichen in Extremfällen um bis zu 50% von den realen Arbeitszeiten ab. In Gesprächen mit dem Simulationsteam der FSG konnten die folgenden, szenariounabhängigen Problemfelder als Ursache für die Abweichungen identifiziert werden.

#### 6.2.3.1 Schwachstellenanalyse in der aktuellen Beschreibung von Bearbeitungszeiten

##### Unikatcharakter des Schiffbaus

Der Schiffbau in Deutschland zeichnet sich durch seinen Unikat-Charakter aus. Geänderte Kundenwünsche, der Einsatz neuer Materialien oder veränderter Bauformen erfordern eine kontinuierliche Anpassung der Planung an neue Gegebenheiten. Ob Anpassungen der Prozesszeit erforderlich sind, kann jedoch aufgrund der eingeschränkten Zeit meist erst nach Abschluss der Arbeiten durch einen Vergleich der prognostizierten und der tatsächlichen Arbeitszeiten festgestellt werden. Die Planung kann somit nicht ausreichend idealisiert werden, um eine mathematische Modellierung mit hoher Anpassungsgüte zu ermöglichen.

##### Keine Berücksichtigung unscharfer Einflussgrößen

Die Algorithmen in den Prozesszeittabellen berücksichtigen ausschließlich scharfe, messbare Eingangsparameter. Unscharfe Einflussfaktoren wie die Enge oder Zugänglichkeit des Arbeitsraumes werden entweder ignoriert oder durch den Benutzer der Simulation geschätzt.

##### Geringe Akzeptanz der Budgetierung

Entscheidend für die Pflege und Aktualisierung der Prozesszeitmodelle ist die Rückmeldung der tatsächlich aufgewendeten Arbeitszeiten. Für jeden Arbeitsschritt werden hierzu auf Basis von Erfahrungswerten Arbeitsbudgets erstellt. Auf diesen Budgetscheinen tragen die Meister und Vorarbeiter nach durchgeführter Arbeit ihre Arbeitsstunden ein. Aufgrund einer geringen Akzeptanz der Budgetierung durch die Meister und Vorarbeiter erfolgt die sogenannte Verschreibung der Arbeitsstunden auf dem Budgetschein jedoch nicht immer projektgerecht. Häufig werden durch nachlässige Verschreibungen

Fehler in der Fertigungsplanung und Nacharbeiten von Arbeitsfehlern verdeckt. Eine Optimierung oder Anpassung der Prozesszeitmodelle wird somit deutlich erschwert.

### Unterschiedliche Arbeitsweisen

Ein weiterer Faktor, der die mathematische Modellierung des Planung erschwert, ist die stark unterschiedliche Arbeitsweise der Meister und Vorarbeiter. Während einige Meister die individuellen Fähigkeiten der Werker bei der Arbeitsvergabe berücksichtigen und ihnen Bereiche der Feinplanung übertragen, lassen andere Meister ihren Werkern weniger Entscheidungsspielraum. Die unterschiedliche Ausnutzung des Potenzials der Werker erhöht die Varianz der Prozesszeiten zusätzlich.

### Kurzfristige Planänderungen

Häufig weichen die Meister und Vorarbeiter kurzfristig von den Vorgaben der Planung ab. Dies geschieht entweder deswegen, weil sich die Planungssituation geändert hat, oder weil sie ein anderes Vorgehen aufgrund ihrer Erfahrung für sinnvoller erachten. Die Abweichung von der Planung kann sich positiv oder negativ auf die benötigte Arbeitszeit auswirken und erschwert einen späteren Vergleich der prognostizierten und tatsächlichen Prozesszeit.

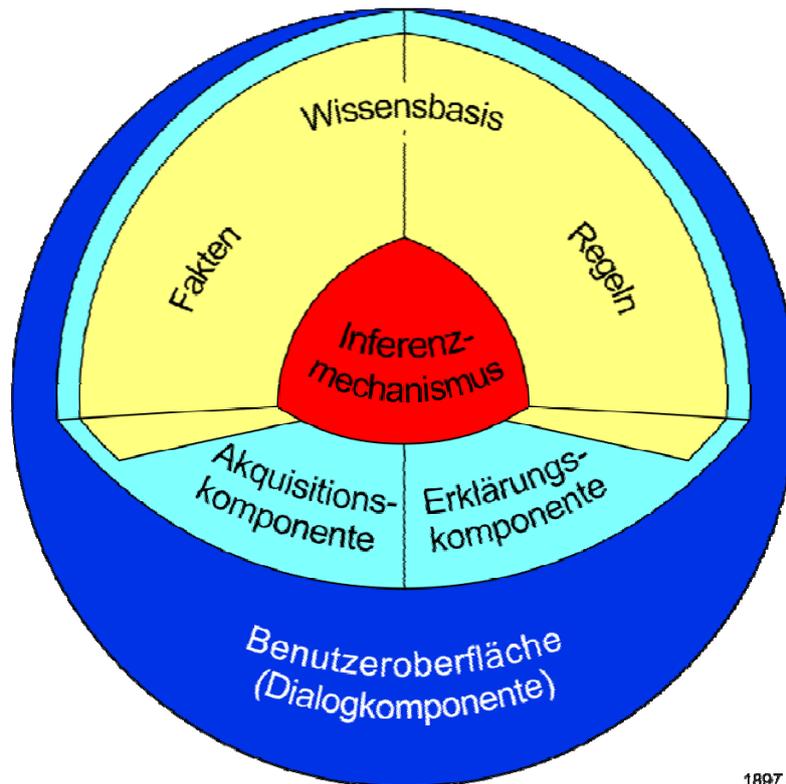
#### 6.2.3.2 Zusammenfassung der Analyse

Die Analyse des Simulationseinsatzes zeigt, dass zwei generelle Problemfelder bei der Erstellung und Pflege von Prozesszeitmodellen existieren, nämlich zum einen die Unregelmäßigkeiten bei der Budgetierung und zum anderen die Verwendung mathematischer Verfahren, die auf die Verarbeitung quantifizierbarer Informationen beschränkt sind. Die Berücksichtigung unscharfer Informationen und Zusammenhänge durch Fuzzy-Logic-basierte Verfahren könnte deshalb zur Verbesserung der Planungsergebnisse beitragen. Im Folgenden werden zunächst Fuzzy-Logic in Expertensystemen eingeführt und anschließend Planungsszenarien vorgestellt und hinsichtlich der Eignung der Fuzzy-Verfahren untersucht.

#### 6.2.3.3 Fuzzy-Logic in Expertensystemen

Der Grundgedanke der Fuzzy Logic ist es, die natürliche Unschärfe der menschlichen Wahrnehmung zu systematisieren und die menschliche Fähigkeit, auch bei unscharfen Informationszuständen Schlussfolgerungen ziehen zu können, nachzubilden [18]. Fuzzy Logic stellt somit einen wissensbasierten Ansatz dar, Unschärfe in den Informationen und im Prozessmodell zu tolerieren.

Wissensbasierte Systeme stellen nach Gottlob et. al. einen Bereich der Künstlichen Intelligenz dar [19]. Sie bestimmen die Lösung eines Problems nicht mittels mathematischer Formeln, sondern durch Folgerungen auf Grundlage der in einer Wissensbasis hinterlegten Informationen. Das wichtigste Merkmal wissensbasierter Systeme ist die Trennung von Wissensbasis und Wissensverarbeitung. Expertensysteme unterscheiden sich von anderen wissensbasierten Systemen dadurch, dass die Wissensbasis auf dem Wissen menschlicher Experten basiert. In Abbildung 22 ist ein solches System dargestellt.



1897.5

Abbildung 22: Schematischer Aufbau eines Expertensystems [20]

Fuzzy Logic wird in Expertensystemen im Rahmen der Fuzzy Logic Control (FLC) seit den frühen 90ern zur Steuerung technischer Anwendungen eingesetzt. Rommelfanger zeigte, dass Fuzzy Logic auch für den Einsatz in nichttechnischen Expertensystemen geeignet ist [21]. Die Erweiterung klassischer Expertensysteme mittels Fuzzy Logic stellt somit eine gute Möglichkeit dar, Wissen und Daten zu verarbeiten, deren Verarbeitung durch Unschärfe erschwert wird. Für ein detailliertes Verständnis der Fuzzy-Logic sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (z.B.: [21,22]).

Das Grundprinzip Fuzzy Logic-basierter Wissensverarbeitung wird in Abbildung 23 dargestellt. Drechsel zählt neben der Regelbasis auch die linguistischen Werte und ihre Zugehörigkeitsfunktionen zum Bestandteil der Wissensbasis [23].

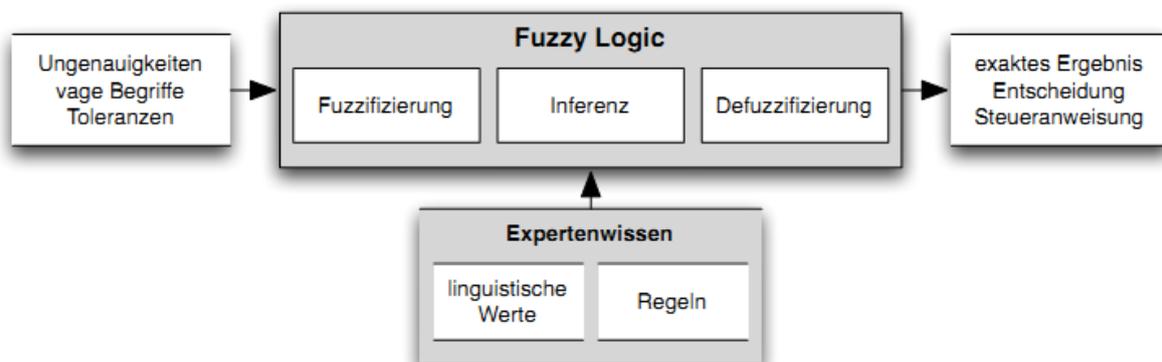


Abbildung 23: Grundprinzip der Fuzzy Logic in Anlehnung an [23].

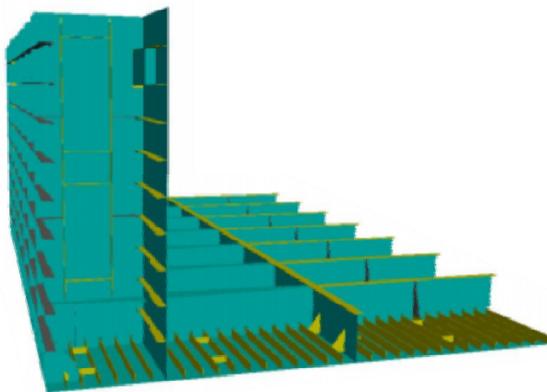
Auf der Eingangsseite können außer scharfen Messwerten auch unscharfe, linguistische Experteneinschätzungen verarbeitet werden. Die Informationen können nominal-, ordinal- oder kardinalskaliert sein. Im Prozess der Fuzzifizierung werden auf Basis der Eingangsinformationen die Erfüllungsgrade der linguistischen Werte bestimmt.

In der Inferenz wird auf die Ausgangsgröße geschlossen. Sie ist in drei Schritte unterteilt. Der erste Inferenzschritt ist die Aggregation. Sie fassen die Erfüllungsgrade der einzelnen Prämissen zu einem Gesamterfüllungsgrad der Regel zusammen. Die anschließende Implikation bildet auf Grundlage der Erfüllungsgrade der Regeln die unscharfen Ausgangsmengen. Führt mehr als eine Regel zu einer Aussage über den Erfüllungsgrad einer unscharfen Ausgangsmenge, folgt mit der Akkumulation ein dritter Inferenzschritt, in dem die unterschiedlichen Erfüllungsgrade zu einem zusammengefasst werden.

Im folgenden Abschnitt wird die Anwendbarkeit der Fuzzy Logic für schiffbauliche Fertigungsprozesse an einem realen Beispiel untersucht.

#### 6.2.3.4 Beschreibung des Untersuchungsszenarios „Ausrichten“

Die Schiffsfertigung erfolgt bei der FSG in Modulbauweise. Der Körper des Schiffes besteht hierbei aus mehreren Modulen, die auf dem Helgen miteinander verschweißt werden. Jedes Modul setzt sich aus mehreren Segmenten zusammen, die wiederum aus Platten und Paneelen gefertigt werden. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 24 a) die 3D-Ansicht des Modul S339 der Baunummer 737 und Abbildung 24 b) zeigt ein Foto desselben Moduls aus der Montage.



a) CAD-Modell



b) erstellte Sektion

b12094

**Abbildung 24: 3D-Ansicht einer Sektion**

Die Fertigung der Module wird in der Simulation abgebildet, um die Dauer der Flächenbelegung zu bestimmen und die Materialbereitstellung zu optimieren. Vor dem Fügen müssen die einzelnen Teile positioniert und ausgerichtet werden. Die benötigte Zeit zum Ausrichten prognostiziert die FSG auf Basis der Abmessungen der Teile. Das Simulationsmodell nutzt hierfür eine generische Gleichung.

#### 6.2.3.5 Analyse der auszurichtenden Teile

Die dargestellten Schwachstellen bei der Verschreibung der Arbeitszeiten erschweren die Bestimmung von kausalen Zusammenhängen zwischen den möglichen Einflussgrö-

ßen und der Prozesszeit mittels statistischer Verfahren. Die Gleichung wurde deshalb auf Basis ausgewählter, plausibler Verschreibungen ermittelt. Die Plausibilitätsprüfung erfolgte auf der Grundlage des Erfahrungswissens des Simulationsteams. und unterliegt somit einer relationalen Unschärfe. Die Formel stellt damit zum Teil eine formale, mathematische Repräsentation des Erfahrungswissens der Planer dar.

Nachteilig wirken sich die eingeschränkten Gestaltungsmöglichkeiten bei der Verwendung mathematischer Funktionen zur Beschreibung der Zusammenhänge aus. Die Berücksichtigung weiterer Einflussgrößen oder die Unterstellung nichtlinearer Funktionsverläufe würde die Komplexität des Prozesszeitmodells erhöhen und damit die Handhabung erschweren. Fuzzy Logic kann in diesem Fall eine Komplexitätsreduzierung bewirken. Hierfür wurden verschiedene Einflussgrößen zusammengetragen. Die Analyse des Szenarios zeigt, dass planungsrelevante Informationen der Unschärfe unterliegen. Tabelle 4 fasst diese zusammen und führt neben der Art der Unschärfe eine stichpunktartige Beschreibung auf.

**Tabelle 4: Planungsrelevante Einflussgrößen**

<b>Defizit</b>	<b>Art der Unschärfe</b>	<b>Beschreibung</b>
Formel	relational	Funktionsverlauf durch statistische Methoden schwer zu bestimmen
Gewicht	informationell	kann mit geringer Unschärfe ermittelt werden
Verformung	informationell	Verformungen in mehreren Dimensionen
Montageort	intrinsisch	Einbauort der Teile
Relative Lage	informationell	relative Lage des Bauteils zur Positionsebene

Neben dem „Ausrichten“-Szenario sind außerdem die Szenarien „Bauteile fügen“ und „Bauteile konservieren“ untersucht worden. Auf diese Beispiele wird im weiteren Verlauf nicht detailliert eingegangen.

#### 6.2.3.6 Modellierungskonzept für die Wissensbasis der Fuzzy Logic

Die im Projektverlauf erarbeiteten Anforderungen zeigen, dass der Prototyp des Expertensystems kardinal-, ordinal- und nominalskalierte Informationen verarbeiten muss. Kardinal- und ordinalskalierte Informationen können einer Unschärfe unterliegen. Unterschiedliche Konzepte zur Modellierung von Informationen sind deshalb untersucht und verglichen worden. In der Praxis hat es sich durchgesetzt, nominalskalierte Informationen als Singletons und ordinalskalierte Informationen mittels triangulärer Zugehörigkeitsfunktionen darzustellen. Unschärfe wird bei ordinalskalierten Informationen durch die Überschneidung der Zugehörigkeitsfunktionen abgebildet. Aufgrund der weiten Verbreitung wurden diese Gestaltungsrichtlinien für die Realisierung des Prototyps übernommen. Zur Modellierung unscharfer, kardinaler Informationen mussten beliebige Zugehörigkeitsfunktionen verarbeitet werden können. Das technische Konzept zur Implementierung nicht-linearer Informationen ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

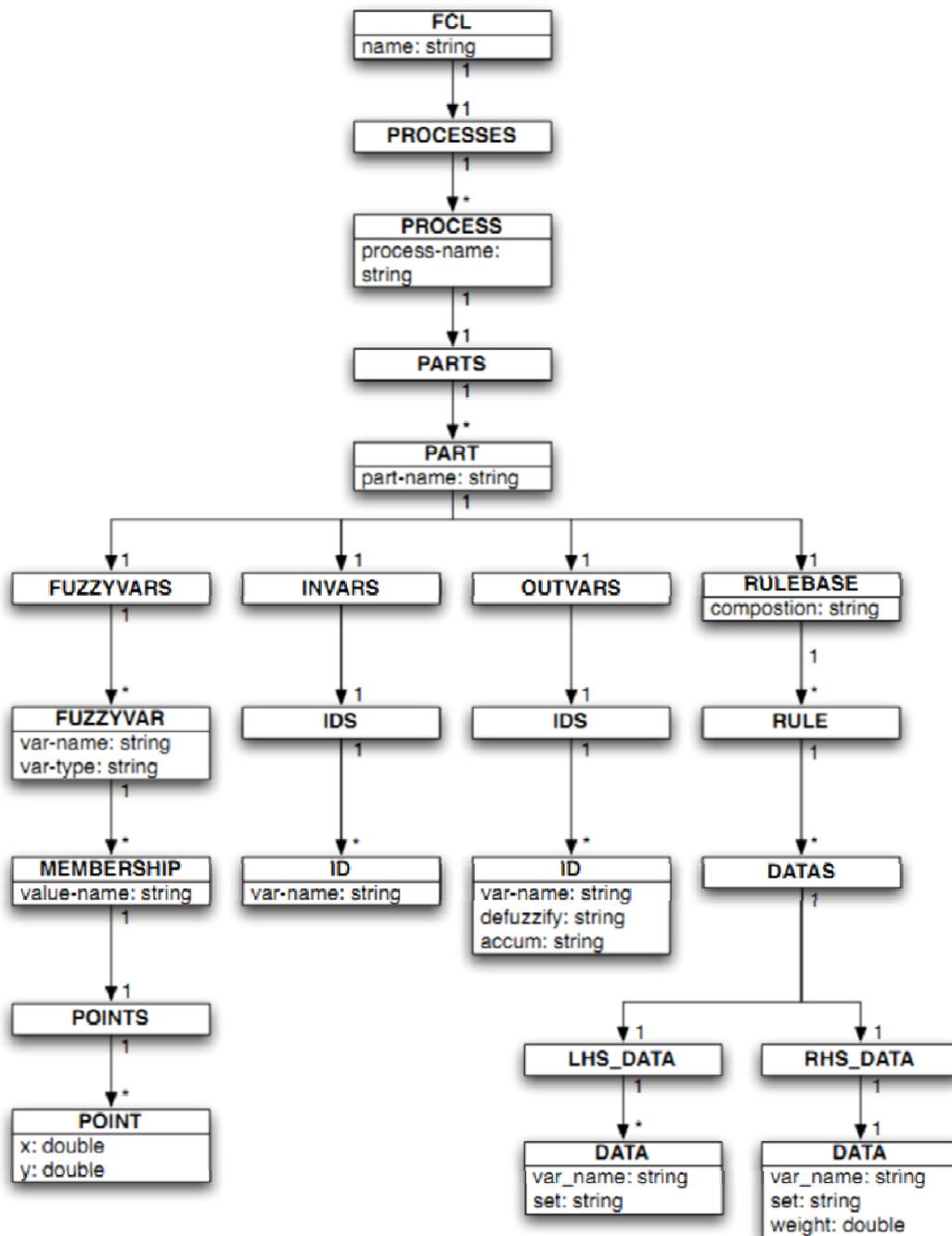
**Tabelle 5: Modellierungsarten für Informationen**

<b>Art der Information</b>	<b>Schärfe</b>	<b>Art der Modellierung</b>
Kardinal	scharf	Singleton
	unscharf	beliebige Zugehörigkeitsfunktion
Ordinal	scharf	trianguläre Zugehörigkeitsfunktion ohne Überschneidung
	unscharf	sich überschneidende trianguläre Zugehörigkeitsfunktion
Nominal	scharf	Singleton

### 6.2.3.7 Umsetzung der Wissensbasis

Die Wissensbasis ist auf der Grundlage der XML-basierten Spezifikation von Mastropasqua et al. umgesetzt worden ([24]). Um den aus der Problemstellung abgeleiteten Anforderungen an die Wissensbasis gerecht zu werden, mußten jedoch kleinere Adaptionen vorgenommen werden. Abbildung 25 zeigt das angepasste Strukturschema der Wissensbasis als UML-Diagramm.

Die Wissensbasis muss mehrere Planungsszenarien aufnehmen können. Um das Ordnungsschema der Prozesszeittabellen wiederaufzugreifen, wurden die Elemente PROCESSES und PARTS zwischen dem Wurzelement und den Elementen der eigentlichen Wissensbasis eingefügt. Das Element PROCESSES kann eine beliebige Anzahl von Prozesskategorien (PROCESS) enthalten. Jeder Prozess enthält wiederum das Element PARTS, in dem als Unterelemente die bauteilbezogenen Prozesse (PART) definiert werden.



b12095

Abbildung 25: UML Diagramm der Wissensbasis

Den bauteilbezogenen Prozessen sind die einzelnen Elemente der Wissensbasis zugeordnet. Diese enthalten die Definition der linguistischen Variablen (FUZZYVARS), die Zuordnung der linguistischen Variablen zur Eingangs- und Ausgangsseite (INVARS bzw. OUTVARS) sowie die Regelbasis (RULEBASE). Um auch nicht-numerische Informationen abbilden zu können, wurde das Element zur Definition der linguistischen Variablen (FUZZYVAR) um ein Attribut zur Beschreibung des Typs der Eingangsvariablen erweitert. Die entwickelte Methode zur Modellierung von nicht-linearen Zugehörigkeitsfunktionen basiert auf der Speicherung von markanten Punkten des Kurvenverlaufes. Die

Spezifikation der FAML (Fuzzy Applications Markup Language) sieht jedoch nur Abbildung triangulärer und trapezoider Zugehörigkeitsfunktionen vor. Um diese Restriktion aufzuheben, wurden dem Attribut POINTS das Unterelement POINT mit Attributen zur Speicherung der Koordinaten hinzugefügt. Die Zuordnung der definierten linguistischen Variablen zur Eingangs- bzw. Ausgangsseite erfolgt über die Elemente INVAR und OUTVAR. Über die Attribute des Elementes OUTVAR werden die Verfahren zur Akkumulierung und Defuzzifizierung festgelegt. Die Spezifikation sieht ein Attribut zur Speicherung eines Default-Wertes vor, der ausgegeben wird, sollte eine mögliche Kombination von Eingangswerten nicht durch eine Regel erfasst werden. Auf dieses Attribut wird bei der Implementierung der Wissensbasis verzichtet, da die Voraussetzung für ein funktionierendes nicht-technisches Expertensystem eine vollständige Regelbasis ist. Die Ausgabe einer Fehlermeldung erscheint hier zielführender als die Verschleierung eines Fehlers durch die Angabe eines Default-Wertes.

Die Spezifikation von Mastropasqua et al. sieht vor, mehrere Regelbasen (Rulebase) parallel abbilden zu können. Durch die implementierte Möglichkeit, einem bauteilbezogenen Prozess eine komplette Wissensbasis zuzuordnen, entfällt jedoch die Notwendigkeit, dieses umzusetzen. Die Regelbasis wird dadurch um eine Elementebene reduziert und gewinnt somit an Übersichtlichkeit. Eine Regel (RULE) wird in Eingangs- und Ausgangsseite (LHS\_DATA bzw. RHS\_DATA) unterteilt. Die Datenelemente (DATA) enthalten als Attribute den Namen der linguistischen Variablen und ihren Zustand. Die Ausgangsgröße enthält zudem noch eine Angabe über die Gewichtung der Regel.

### 6.2.3.8 Modellierung des Planungsszenarios Ausrichten

Die Modellierung des Expertenwissens für die Bestimmung der Ausrichtezeit wird exemplarisch an der Bauteilkategorie „Einbauteile“ durchgeführt. Der Abschnitt umfasst die Modellierung der scharfen und unscharfen Eingangsgrößen sowie das Aufstellen der Regelbasis.

#### Design der scharfen linguistischen Variablen

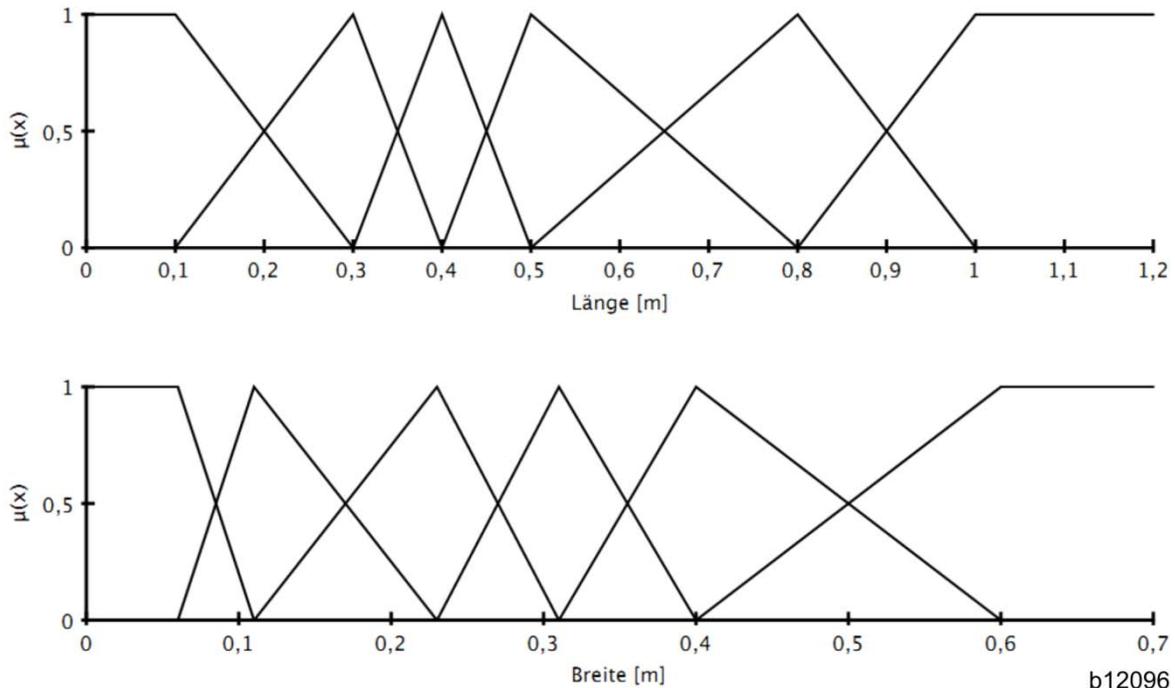
Der Wertebereich der Einbauteilmaße wird durch Bildung der Quantile in fünf Intervalle unterteilt. Die Werte der Quantile sind in Tabelle 6 aufgeführt.

**Tabelle 6: Einteilung der Quantile**

Maß	Q <sub>0</sub>	Q <sub>0,2</sub>	Q <sub>0,4</sub>	Q <sub>0,6</sub>	Q <sub>0,8</sub>	Q <sub>1</sub>
Länge	0,11	0,27	0,37	0,51	0,78	11,53
Breite	0,6	0,11	0,23	0,31	0,4	2,95

Die linguistischen Werte der Variablen werden durch trianguläre Zugehörigkeitsfunktionen modelliert. Die Quantile markieren die Punkte, an denen die Zugehörigkeitsfunktionen entweder ihren minimalen  $\mu_{(x)} = 0$  oder ihren maximalen Wert annehmen  $\mu_{(x)} = 1$ . Aufgrund der großen Spannweite der Einbauteilmaße wurden bei der Länge  $l = 1, 2m$  und bei der Breite  $b = 0, 7m$  als Maximalwerte gewählt (vgl. Abbildung 26). Diese Beschneidung des Wertebereichs schließt etwas weniger als 5% der in der Montageliste aufgeführten Einzelteile aus.

Eine Berücksichtigung des kompletten Wertebereiches würde entweder zu einer deutlich erhöhten Anzahl von linguistischen Variablen führen oder die Genauigkeit des Systems stark negativ beeinflussen. In Abbildung 26 sind die linguistischen Variablen der Länge und Breite abgebildet. Da linguistischen Werte mittels statistischer Verfahren bestimmt wurden und da sie vom Expertensystem nur intern gehandhabt werden, wurde auf eine linguistische Umschreibung verzichtet.



**Abbildung 26: Linguistische Variablen der Länge und Breite**

Die Modellierung der Prozesszeiten wurde in gleicher Weise, nur mit angepassten Quantilen durchgeführt. Zur Bildung der grundlegenden Regelbasis wurde eine Tabelle mit allen möglichen Kombinationen der linguistischen Eingangswerte gebildet. Jedem linguistischen Wert wurde anschließend der numerische Wert  $x$  zugewiesen, für den gilt:

$$\mu(x) = 1 \quad \forall x \in X$$

Auf Basis dieser Werte wurde die Zeit berechnet, welche die jeweilige Kombination von Eingangsgrößen gemäß dem aktuellen Prozesszeitmodell benötigt. Als Defuzzifizierungsverfahren wurde die CoW-Methode (center of weight) verwendet. Diese Methode berücksichtigt die Überdeckung von Flächen innerhalb der aggregierten Fuzzy-Funktionen. Um dem zu entsprechen, wurde den einzelnen Kombinationen der linguistischen Größen die Zielwert zugewiesen, deren Flächenschwerpunkt am geringsten von der prognostizierten Prozesszeit abweicht.

Um die Güte der Nachbildung des aktuell verwendeten Prozesszeitmodells beurteilen zu können, ist die berechnete Prozesszeit mit der prognostizierten Zeit des Expertensystems verglichen worden. Als Eingangsdaten dienten die von der Werft angegebenen Werte. Systematische Versuche zeigen, dass es zu einer zunehmend stärker werdenden Schwankung um die berechneten Werte kommt, je größer die Spannweiten der linguistischen Werte gewählt werden. Überspannen die linguistischen Werte einen größeren

Wertebereich, resultiert dies somit in einer stärkeren Schwankung des defuzzifizierten Ausgangswertes.

### 6.2.3.9 Modellierung der unscharfen linguistischen Variablen

Die linguistischen Werte der unscharfen Variablen sind in Tabelle 7 aufgeführt. Für jeden linguistischen Wert ist angegeben, ob er eine Verlängerung (+) oder eine Verkürzung (-) der Prozesszeit bewirkt.

**Tabelle 7: Linguistische Werte der unscharfen Variablen**

Variable	Wert	Einfluss	Gewicht
Gewicht	normal	0	-
	leicht	-	0,2
	schwer	+	0,2
	sehr leicht	--	0,4
	sehr schwer	++	0,4
Verformung	keine / geringe	0	-
	leicht	+	0,4
	stark	++	0,4
Montageort	Decke	0	-
	Außenwand	+	0,2
	unter Deck	++	0,4
Positionsebene	Boden	0	-
	Wand	+	0,2
	Decke	++	0,4

Modelliert wurden die linguistischen Werte als Singletons. Für jede linguistische Variable wurden eigene Regelsätze angelegt. Diese Regelsätze enthalten Prämissen für Länge und Breite sowie für eine unscharfe Variable. Jede Regel kann somit maximal 3 Prämissen besitzen. Bei der Regelbildung wurde folgendes Schema eingehalten:

- Kopieren des Grundregelsatzes
- Erweiterung des kopierten Regelsatzes um eine linguistische Variable. Alle möglichen Eingangskombinationen müssen dabei abgedeckt werden.
- Verlängert der Einfluss eines linguistische Wertes die Prozesszeit, wird die Zielgröße der Regeln durch den nächstgrößeren Nachbarn ausgetauscht. Bei einer Verkürzung wird der nächstkleinere gewählt.

- Hat der linguistische Wert einen starken Einfluss, wird die Regel mit  $w = 0,4$  gewichtet, ansonsten mit  $w = 0,2$

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse des Expertensystems und des aktuell verwendeten Prozesszeitmodells zeigt, dass die maximale und die minimale Prozesszeit des Expertensystems einen Korridor um die berechnete Prozesszeit der generischen Gleichung bilden. Das System korreliert somit mit dem bestehenden empirischen Ansatz. Für die Weiterentwicklung der Systematik ist die betriebsbegleitende Evaluation der Größen des Expertensystems notwendig.

#### 6.2.3.10 Kritische Betrachtung der Fuzzy-basierten Beschreibung von Prozesszeit-Szenarien

Nur durch die korrekte Erfassung des Expertenwissens kann gewährleistet werden, dass die ermittelten Ergebnisse des Expertensystems auf die Realität übertragbar sind. Die unscharfen Eingangsgrößen konnten in den Experteninterviews zügig ermittelt und formalisiert werden. Ein größeres Problem stellte jedoch die Formalisierung der Interaktion zwischen diesen Größen dar. Im modellierten Planungsszenario wurde den unscharfen Variablen ein additiver Einfluss auf die Prozesszeit unterstellt.

Die Verfügbarkeit verlässlicher Prozesszeiten würde den Einsatz mathematischer Verfahren ermöglichen. Auch wenn die Verfahren nicht dazu geeignet sind, Unschärfe zu modellieren, helfen sie grundlegende Zusammenhänge zu erkennen, was die Erfassung des Wissens erleichtert.

Die Defuzzifizierung basiert auf der Annahme, dass die Fläche der unscharfen Ergebnismengen mit akzeptabler Genauigkeit durch eine Dezimalzahl approximiert werden kann. In der Regelungstechnik, in der eine schnelle Folge von Anweisungen getroffen wird, mag diese Annahme zutreffen. Nach den gewonnenen Erkenntnissen innerhalb des Projekts ist diese Annahme in den untersuchten Szenarien zumindest teilweise zu hinterfragen: Das Nachbilden des untersuchten Prozesszeitmodells mittels Fuzzy Logic zeigt die Schwierigkeiten das Expertensystem auf ein bestimmtes Verhalten einzustellen. Der scharfe Ausgangswert schwankt um den beabsichtigten Funktionsverlauf.

Für den sinnvollen Einsatz des Expertensystems ist es somit nicht ausreichend, einmal die Wissensbasis zu ermitteln und anschließend das System zu verwenden. Vielmehr müssen die Datenbasis und das System stetig geprüft und adaptiert werden. Hierzu gehört auch, dass die Ergebnisse des Expertensystems mit realen Messungen verglichen werden müssen. Nur so kann sichergestellt werden, dass das System die gewünschten und korrekten Ergebnisse liefert.

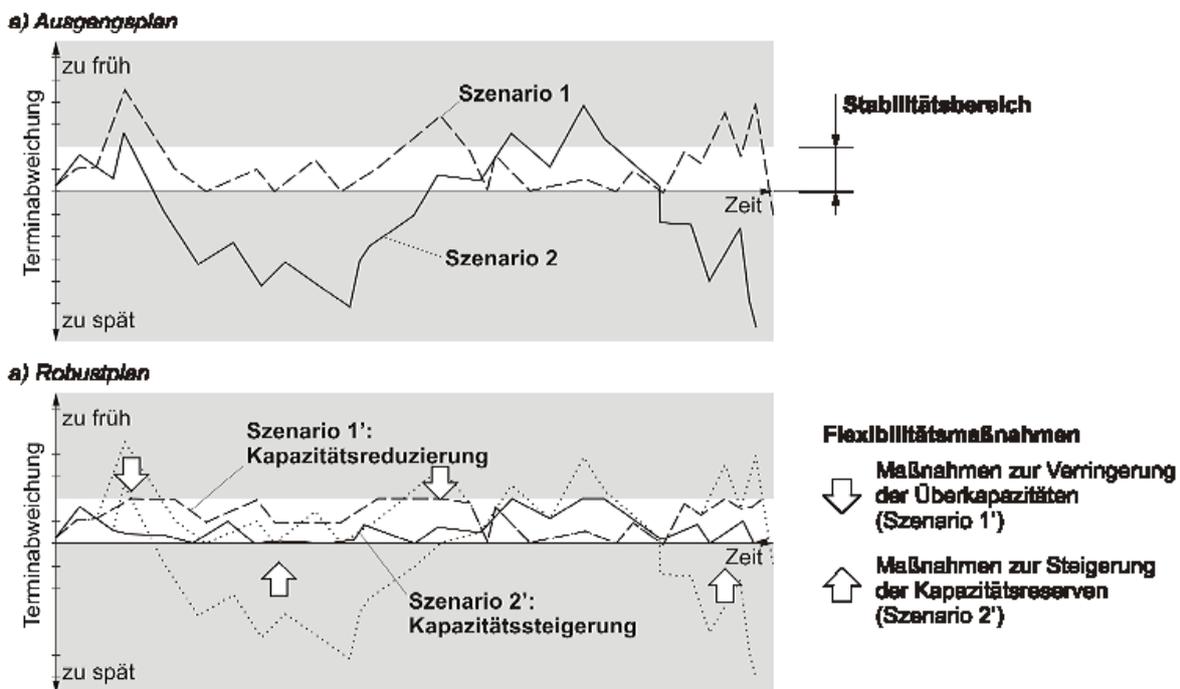
Da Bearbeitungszeiten nur einer der vielen Unsicherheitsfaktoren in der Unikatfertigung sind, ist es sinnvoll, Produktionsszenarien mit einer Worst- und Best-Case-Betrachtung zu untersuchen. Auf diese Weise entstehen robuste Szenarien. Auf den Nutzen der Robustszenarien wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

### 6.3 Konzeption von robusten Szenarien zur Validierung und Absicherung der Planungsergebnisse

Durch die Kombination verschiedener Szenarien in Worst- und Best-Case-Zustand entsteht ein robuster Plan. Die Szenariobasierte Planung bildet somit ein System zur Unter-

suchung verschiedener Planungssituationen und berücksichtigt dabei verschiedene Zustände dieses Systems. Es wird hierdurch möglich, Potenziale verschiedener Produktionsabläufe zu evaluieren. Außerdem lassen sich Probleme aufdecken, die aus möglichen Abweichungen resultieren. Hierdurch wird es möglich, Auswirkungen auf die Verwirklichung eines Plans oder Steuerungsalternativen zu bewerten und dem Anwender eine robuste und transparente Entscheidungsgrundlage zu bieten.

Die grundlegende Bewertungsgröße der Planung und Steuerung ist die Effektivität und die Effizienz einer Handlungsalternative. Die Effektivität beschreibt, in welchem Umfang die gesetzten Ziele erreicht werden. Die Effizienz einer Entscheidung bewertet das Verhältnis von Zielerreichung und Ressourceneinsatz. Die Robustheit einer Entscheidung drückt sich nach Scholl in den Kriterien der Stabilität und der Flexibilität der Entscheidung aus [25].



10989.2

Abbildung 27: Ermittlung einer robusten Entscheidungsgrundlage, Diagramm (nach [10])

Zur besseren Verständlichkeit wird dies an dem in Abbildung 27 dargestellten Beispiel erläutert. Die in Abbildung 27 dargestellten Diagramme zeigen die Terminabweichungen mehrerer Produktionsaufträge in der Einrichtungsmontage über dem betrachteten Planungszeitraum. Die Szenarien des im linken oberen Bildteil aufgeführten Ausgangsplans werden aus einem Personaleinsatzplan sowie zwei schätzungs-basierten Referenzszenarien für die Zugänglichkeit der Montagestellen zusammengesetzt. Das Szenario 1 bildet den Best-Case der Zugänglichkeit ab, Szenario 2 den Worst-Case. Daraus ergeben sich folgende Unterschiede in den Ergebnissen der beiden Szenarien:

- Szenario 1 führt zu negativen Terminabweichungen, die im Wesentlichen auf Überkapazitäten zurückzuführen sind.
- In Szenario 2 sind große positive Terminabweichungen, d.h. Verspätungen, festzustellen, weil die Kapazitäten nicht ausreichen.

Stabilität bedeutet, dass die Umsetzung einer Entscheidung unabhängig von den berücksichtigten Einflussfaktoren zu einem Ergebnis führt, welches die vorher definierten Vorgaben erfüllt [25]. Die zu berücksichtigenden Einflussfaktoren werden durch fallbasierte Ableitung und Schätzung von Daten bei der Szenariobildung definiert. Um die Stabilität einer Entscheidung zu bewerten, muss folglich der Einfluss der fall- und schätzungs-basierten Szenarioausprägungen auf eine spezifische Entscheidungsalternative untersucht werden. Darauf basierend wird die Stabilität des Szenarios anhand der Abweichungen zum gesetzten Ziel ermittelt. Die Stabilität einer Entscheidungsalternative ist damit aus der Gesamtheit aller betrachteten Szenarien abzuleiten. Der in Abbildung 27 aufgeführte Ausgangsplan ist stabil, falls die Terminabweichungen der betrachteten Szenarien zu der spezifischen Entscheidungsalternative im tolerierten (weißen) Bereich zwischen den grau gekennzeichneten Flächen liegen. Um die Zielvorgaben in allen Szenarien der Entscheidungsalternative zu erfüllen, muss in der Regel die Flexibilität ausgeschöpft werden.

Die Flexibilität einer Entscheidung ist das Potenzial einer Entscheidung, durch eine veränderte Realisierung ein Ergebnis zu erzielen, das weiterhin die definierten Vorgaben erfüllt [25]. Der flexible Anteil einer Entscheidung ergänzt den stabilen Teil damit, dass die Effektivität der Entscheidung durch die flexiblen Anpassungen erhalten bleibt. Die erforderliche Flexibilität wird über die Gesamtheit aller Maßnahmen bestimmt, die notwendig sind, um in den betrachteten Szenarien zu einer Entscheidungsalternative die Zielvorgaben zu erfüllen. Im Beispiel von Abbildung 27 werden Flexibilitätsmaßnahmen für das Simulationsszenario 2 umgesetzt, mit denen die Terminabweichungen behoben werden. Hierzu eignen sich z. B. kurzfristige Kapazitätssteigerung mit Fremdpersonal. Für das Szenario 1 ist die entgegengesetzte Maßnahme erforderlich, d. h. eine Kapazitätsreduzierung. Zur einfacheren Unterscheidung vom Ausgangsplan wurden die angepassten Szenarien in 1' (vorher: Szenario 1) und 2' (vorher: Szenario 2) umbenannt.

Die Robustheit einer Entscheidung leitet sich demnach aus der Kombination der Stabilität und der vorhandenen Flexibilität ab. Die szenariobasierte Planung und Steuerung, ob eine Entscheidungsalternative ausreichend stabil ist und welche Flexibilitätsmaßnahmen unter den gesetzten Effizienz- und Effektivitätsvorgaben erforderlich sind. Beispielsweise wird in der Personalkapazitätsplanung festgestellt, dass ca. 20% weniger Personalkapazität benötigt wird, falls das aktuelle Projekt Szenario 1 folgt. Daher muss entschieden werden, von welchem Szenario der Kapazitätsplan abgeleitet wird und welche darauf basierende Flexibilität eingeplant werden muss, wie z. B. Verträge mit Personaldienstleistern. Aus der Verknüpfung eines ausreichend stabilen Ausgangsplans und definierten Flexibilitätsmaßnahmen wird der Robustplan erstellt. Das Szenario, das als Entscheidungsbasis verwendet werden soll, ist daher durch die Gewichtung der Szenarien auszuwählen.

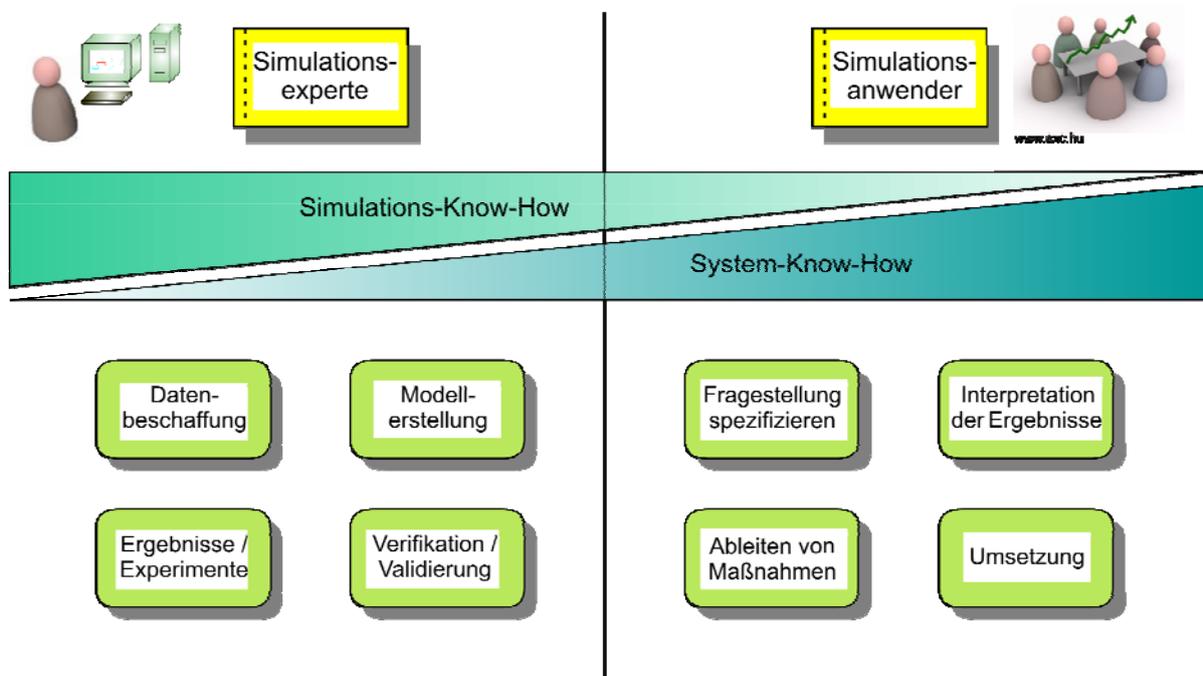
Entscheidungsgrundlage sind die simulierten Szenarien sowie die Aufbereitung der Ergebnisse hinsichtlich Effizienz, Effektivität und Robustheit. Daher sind zur Integration der Szenariosimulation in die Planung und Steuerung die entsprechenden Entscheidungen und Untersuchungen mit der Simulation in einem Bericht zu dokumentieren und für die Umsetzung und spätere Planung und Steuerung zur Verfügung zu stellen. Unter anderem können dazu Indikatoren für das Eintreten spezifischer Fälle definiert und die maximalen terminlichen und kapazitiven Toleranzen für den Produktionsablauf vorgegeben werden.

## 6.4 Zusammenfassende Betrachtung der Szenariosimulation

Die Szenariosimulation ermöglicht in der schiffbaulichen Planung und Steuerung die folgenden Vorteile:

- Schnellere Vorbereitung und Durchführung der Simulation: Die Szenariobildung vereinfacht die Erstellung von Simulationsmodellen und ermöglicht dem Anwender, schnell und mit wenig Aufwand Simulationsläufe für ausgewählte Szenarien durchzuführen.
- Wissensweitergabe / Entscheidungswegdokumentation: Die systematische Modellierung und Anpassung von Simulationsszenarien dokumentiert den simulationstechnischen Entscheidungsweg. Zusätzlich können Anwender bestehende Szenarien wiederverwenden, die erfahrene Mitarbeiter erstellt haben.
- Transparenz der Entscheidungen: Szenarien als Grundlage einer Entscheidung können rekonstruiert und wiederverwendet werden. Dadurch kann der Nutzer die Entscheidungen leichter nachvollziehen.
- Vereinfachtes Erkennen fehlerhafter Annahmen: Die Szenarien vereinfachen die Betrachtung der Modellannahmen. Dies ermöglicht es dem Anwender, Fehler in den Annahmen einfacher zu erkennen.
- Erhöhte Akzeptanz der Simulation: Die systematische Modellierung der Szenarien verbessert die Validierung der Simulationsmodelle und der Daten. Dadurch wird die Akzeptanz bei den Mitarbeitern erhöht, die Simulation als Werkzeug einzusetzen und mit den Ergebnissen zu arbeiten.

Dies vereinfacht die Nutzung der Simulation, indem sie die Zusammenarbeit zwischen Simulationsexperte und Simulationsanwender vereinfacht (vgl. Abbildung 28).



11621.1

Abbildung 28: Anwenderorientierte Aufgabenverteilung in der Szenariosimulation (nach [10])

Der **Simulationsanwender** spezifiziert gemäß der Fragestellung die Simulationaufgabe, ähnlich der Definition in einem Lastenheft. Aus dem Lastenheft kann der Simulati-

onsexperte die erforderlichen Daten für das Simulationsmodell und die Experimentgestaltung ableiten.

Der Simulationsanwender nutzt anschließend seine betriebsinternen Kenntnisse, um Alternativen oder mögliche Situationen in der Simulation zu definieren. Nach der Durchführung eines Simulationsexperiments wertet der Anwender die Ergebnisse aus und definiert Maßnahmen. Auch hierbei nutzt der Anwender seine Kenntnisse über das abzubildende System, um die Simulationsergebnisse entsprechend der Machbarkeit, der Potenziale und der Risiken zu interpretieren.

Der **Simulationsexperte** bereitet die Simulationsszenarien für den Anwender vor. Die Aufgaben unterteilen sich in die Modellentwicklung sowie in die Vorbereitung der Datenbeschaffung und der Ergebnisaufbereitung. Während des gesamten Prozesses werden die Daten und Modelle der Szenarien immer wieder verifiziert und [6]. Der Simulationsexperte beschränkt die möglichen Kombinationen der Daten und Modelle auf ausgewählte Konfigurationen, sodass eine Fehlbedienung durch den Simulationsanwender möglichst ausgeschlossen wird.

Im Wesentlichen unterstützt die Anwendung der Szenariotechnik in der Simulation den Simulationsanwender. Gleichzeitig entlastet sie jedoch auch den Simulationsexperten von der betriebsbegleitenden Anwendung. Dies gelingt durch die Verbindung von Simulations- und Szenariotechnik und Robustplanung. Die Gesamtsystematik hilft dem Anwender, Eventualitäten und Alternativen einer Planungs- oder Steuerungsaufgabe durch den Vergleich unterschiedlicher Szenarien zu bewerten. Dies unterstützt die Entscheidungsvorbereitung, auch indem es die Ermittlung möglicher Planabweichungen sowie der Robustheit der Handlungsalternativen vereinfacht. Dadurch wird der Entscheidungsprozess in einer Planungsrunde besser abgesichert.

Für den Simulationsexperten wurde zur systematischen Vorbereitung der Szenariosimulation eine Vorgehensweise und angepasste Methoden zur Verfügung gestellt, die eine Konfigurierbarkeit der Simulationsszenarien sicherstellen. Die grundlegende, generative Modellierungsmethodik vereinfacht die Zusammenstellung von verschiedenen Modellelementen und deren datentechnischer Anpassung. Doch verspricht die Methodik auch Potenziale für die Unterstützung des Simulationsexperten bei der Programmierung von Modellelementen, da die Erstellungshistorie sowie der modulare Aufbau der Simulationsmodelle durch den generativen Modellierungsansatz leicht nachvollzogen und somit einfach dokumentiert werden kann. Unter anderem ermöglicht die Modularisierung auch eine Verteilung der Entwicklungsaufgaben und somit eine Reduzierung der Zeit für die Erstellung oder Anpassung von Modellen.

## 7 Verifizierung in komplexen Ausrüstungs- und Stahlbaubereichen

Das letzte und abschließende Arbeitspaket hatte das Ziel, die bisher erarbeiteten Konzepte und Methoden an verschiedenen Referenzszenarien zu untersuchen und die Wirksamkeit der erarbeiteten Lösungen zu bewerten. Der Fokus lag hierbei zunächst auf der Untersuchung des entwickelten Simulationsdatenmanagements und Modellmanagement-Systemen für die schiffbauliche Planung und Steuerung.

Die Übertragung der Erkenntnisse und Erfahrungen der unterschiedlichen Anwender war bisher nicht bzw. nur mit großem Adaptionsaufwand möglich. Durch das neue System ist es den Projektpartnern nun möglich, die von der Simulation benötigten Daten an einer zentralen Stelle zusammenzuführen, aufzubereiten und zu aggregieren und mit der Simulation anschließend zu bewerten. Die Umsetzbarkeit weisen die Projektpartner in den jeweiligen Referenzszenarien nach.

### 7.1 Definition von Verifikationskriterien in der Anwendung

Kriterien für die Verifikation der Referenz-Szenarien sind an dem jeweiligen Betrachtungsfokus ausgerichtet. Allgemein definiert Rabe et. al. die in Abbildung 29 zusammengefassten Kriterien. Angewendet werden Prüfungen auf Vollständigkeit, Konsistenz und Genauigkeit während der Entwicklung des Modells. Während der Nutzung sind das Modell und sein Datenbestand auf Aktualität, Eignung, Plausibilität sowie Verständlichkeit zu untersuchen. Die Machbarkeit und Verfügbarkeit des Modells ist durch Experten für die verschiedenen Phasen der Referenzmodellentwicklung abzusichern.

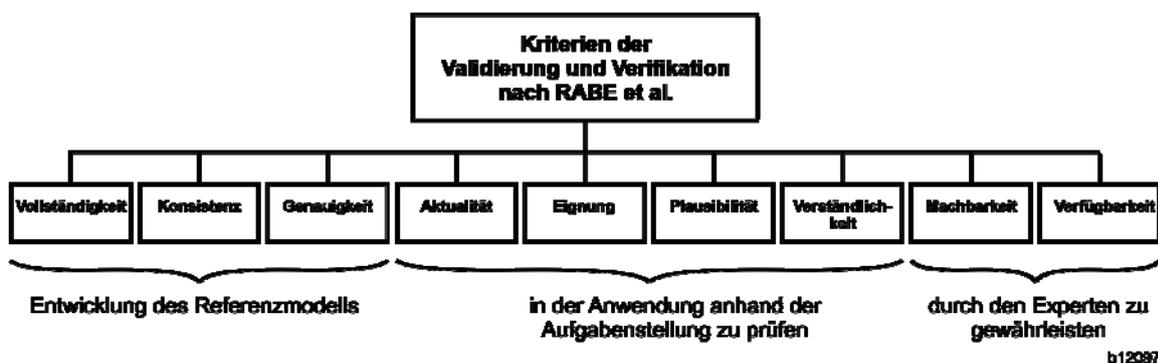


Abbildung 29: Kriterien zur Validierung und Verifikation (nach [6]) und ihre Einordnung innerhalb der Szenariosimulation

### 7.2 Definition von Referenz-Szenarien

Die Projektpartner behandelten im Projektverlauf immer ein Hauptkompetenzgebiet, in dem sie die jeweiligen Inputs und Untersuchungen für die Datenmodellgestaltung, den Datentransfer und die Überprüfung der Informationen erarbeitet haben. Innerhalb dieser Kompetenzfelder entwickelten sie Referenzszenarien für die Prüfung der jeweiligen Methoden und Konzepte. Die Beschreibung erfolgt in den Abschnitten der Abschlussberichte der Partner.

Referenzszenario für die Zulieferintegration

Lieferanten realisieren einen großen Teil der Wertschöpfung [26]. Das Spektrum der Leistung erstreckt sich hierbei von der Bereitstellung einzelner Komponenten und Halbzeuge über die Realisierung einzelner Schiffsbereiche bis hin zur Integration komplexer Systeme, wie Hauptmaschine oder Klimaanlage [27].

Aufgrund des Leistungsumfangs ist die Lieferantenkoordination eine wichtige Aufgabe der Werft [28]. Die Varianz der Leistungen erzeugt wiederum die Forderung nach verschiedenen Integrationsarten. Diese müssen dem Komplexitätsgrad der Leistungserbringung entsprechen. Dazu sind drei Szenarien definiert worden: Termindefinition, Steuerung über Vorgabezeiträume sowie Integration mit variablem Detaillierungsgrad.

Termine legen fest, wann die Lieferanten die Komponenten und Halbzeugen liefern sollen. Die im ERP-System vorliegenden Termine sind eine wichtige Eingangsdaten für die Simulation. Ein Austausch zwischen werftseitiger Produktionssteuerung mittels Simulation und den Lieferanten findet nicht statt. Anpassungen der Termine erhält die Simulation über einen aktualisierenden Datenimport. Veränderungen und ihre Auswirkungen sind nach dem Simulationsdurchlauf interpretierbar und können eine weitere Koordination bedingen.

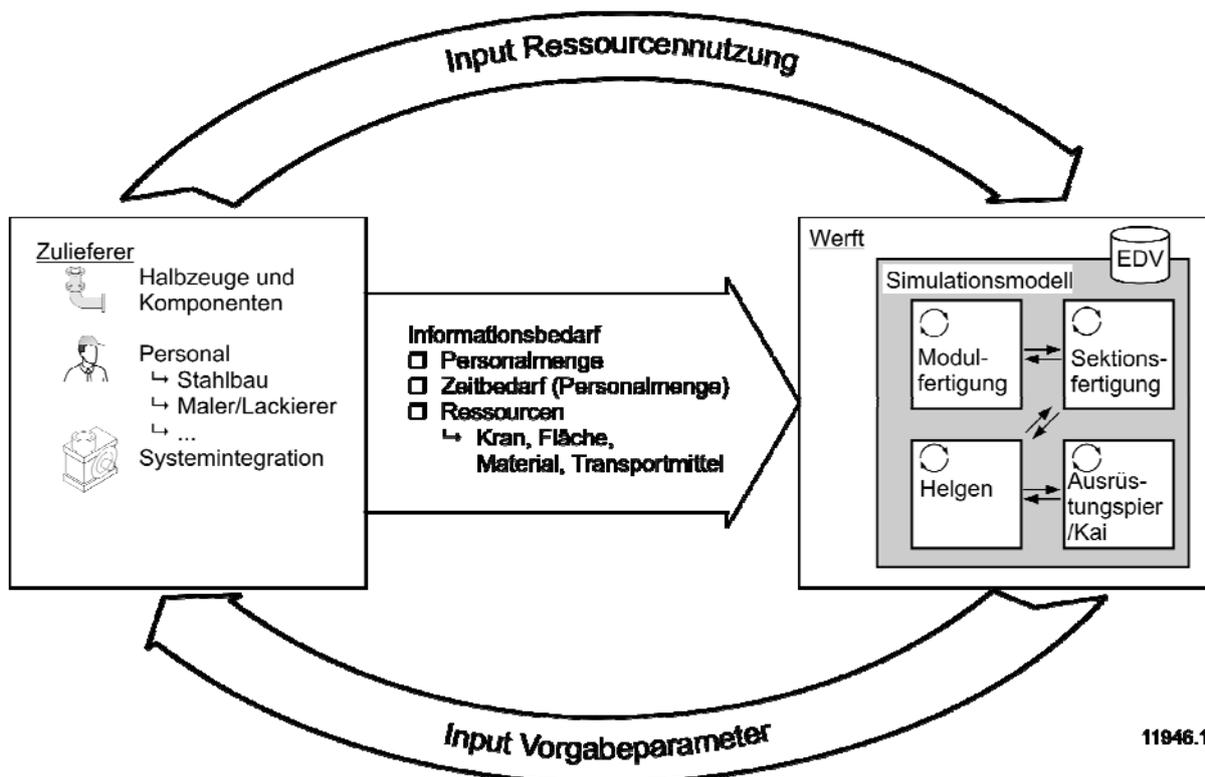


Abbildung 30: Informationsaustausch zwischen Lieferant und Werft

Die Steuerung über Vorgabezeiten setzt einen detaillierten Austausch von Informationen voraus, weshalb dieser Ansatz bei der Integration komplexer System anzuwenden ist (vgl. Abbildung 30). Der Lieferant definiert seine Personalkapazität sowie den Zeit- und Ressourcenbedarf. Die Simulation nutzt diese Informationen als Input und bestimmt das Bearbeitungszeitfenster. Typisch ist eine weiterführende Koordination, wo-

bei der große Informationsumfang eine höhere Flexibilität in der Termingestaltung ermöglicht. Der Datenaustausch findet über die Simulationsdatenbank oder das ERP-System statt. Maßgeblich ist hier, welche Informationen im ERP-System liegen und wie gut der Import in die Simulationsdatenbank zu realisieren ist.

Die Integration mit variablem Detaillierungsgrad setzt in frühen Phasen des Projektes nur die Definition von Terminen voraus. Mit diesen planen die Lieferanten die eigene Produktion und den frühesten Zeitpunkt für die Systemintegration. Sobald der Projektfortschritt eine detailliertere Simulation ermöglicht, nutzt das Simulationsmodell die zusätzlichen Informationen über den Personal-, Zeit- und Ressourcenbedarf. Diese sind im ERP-System oder der Simulationsdatenbank vorzuhalten. Nach der Festlegung besteht zwischen der Werft und ihren Lieferanten immer noch eine gewisse Flexibilität, die von beiden für die Bedarfsanpassung nutzbar ist.

Für eine wirksame Implementierung der drei beschriebenen Szenarien ist einerseits klar zu regeln, wie die Kommunikation zwischen Werft und Lieferanten zu erfolgen hat. Andererseits sind die Abläufe bei der Datenhandhabung zwischen ERP-System, Simulationsdatenbank und Simulationsmodell klar und zuverlässig zu regeln. In Kooperation mit der FSG ist dies für alle Integrationstypen exemplarisch untersucht und für Unterauftragnehmer aus den Bereichen Klimaanlage, Kommunikationstechnik und Innenaussstattung validiert worden.

## 8 Voraussichtlicher Nutzen

Das Forschungsvorhaben „GENESIM - Generisches Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionssimulation“ hat Methoden und Werkzeuge entwickelt, die Unternehmen eine zuverlässigere und einfachere planungsbegleitende Simulation von Produktionsprozessen ermöglichen.

Hierzu zählt zum einen die Entwicklung geeigneter Datenmodelle zur Speicherung der Simulationseingangs- und -ausgangsdaten. Zum anderen wurden konkrete **Konzepte und Methoden** erarbeitet, um die planungsbegleitende Simulation im deutschen Schiffbau auch in frühen Phasen und bei bestehender Datenunsicherheit einsetzen zu können. Das hierfür entwickelte Szenariokonzept verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz und versetzt Anwender in die Lage, auch mit geringem Expertenwissen verschiedene Produktionsszenarien abzubilden und zu untersuchen. Hierdurch ist es den Simulationsanwendern möglich, ein möglichst robustes Produktionsszenario zu bestimmen.

Die von den Projektpartnern erarbeiteten Lösungen wurden in Referenzszenarien untersucht und auf ihre Anwendbarkeit hin evaluiert. Die Industriepartner werden die Konzepte und Methoden in Zukunft im betrieblichen Alltag einsetzen.

### 8.1 Wissenschaftliche Verwertung / Anschlussfähigkeit

Die erarbeiteten Inhalte werden innerhalb der Forschungsgemeinschaften **SIMoFIT** und **SimCoMar** gepflegt und weiterentwickelt. Speziell das entwickelte Datenmodell wird innerhalb der SIMoFIT-Gruppe genutzt.

In der Kooperationsgemeinschaft **SimCoMar**, die sich mit der Simulation im Bereich der schiffbaulichen Produktion beschäftigt, werden die Teilergebnisse und Fortschritte aus dem Forschungsvorhaben diskutiert und durch Anregungen verbessert, um einen breiteren Nutzeneffekt zu erzielen. Eine weitere Diskussion zur Verbesserung der gefundenen Lösungsansätze erfolgt in den Arbeitsgemeinschaften ASIM und HAB.

Aufgrund des generischen Charakters der Ergebnisse von GeneSim besteht große Anschlussfähigkeit in anderen, dem Schiffbau verwandten Industriebereichen, wie dem Schwermaschinen- oder dem Anlagenbau. Über die SIMoFIT-Gruppe konnte das Datenmodell bereits in einen artverwandten Forschungsbereich übertragen werden.

Aktuell erfolgt die Evaluierung der Projektergebnisse unter realen Bedingungen im Tagesgeschäft der Unternehmen. Die sich hierbei ergebenden Erkenntnisse werden voraussichtlich weiteren Forschungsbedarf aufdecken. Die Evaluierung ist formal nicht mehr Bestandteil des Projekts GeneSim und erfolgt zur Nachbereitung des Projekts.

### 8.2 Wirtschaftliche Verwertung

Die im Rahmen des Genesim-Projektes entwickelten Hilfsmittel (generisches Datenmodell, Geschäftsprozesse, Szenariokonzept und Methoden der Daten und Modellvalidierung) werden in die betrieblichen Prozesse integriert. Sie tragen dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu steigern. Die Reduktion von Unsicherheiten und das Aufzeigen von Handlungsmöglichkeiten befähigen die Unternehmen, weiterhin erfolgreich am Markt zu operieren. Durch die unternehmensübergreifende Nutzung der für alle Partner zugänglichen Informationen und Datenmodelle wird eine weitere Reduktion der Planungsunsicherheiten ermöglicht.

Darüber hinaus gehen die Erkenntnisse in das Beratungsangebot des Instituts für Produktionsmanagement und -technologie der TU Hamburg-Harburg sowie des Center of Maritime Technology (cmt) ein.

## **9 Während der Durchführung bei anderen Stellen bekannt gewordene Fortschritte**

Während der Bearbeitung von GeneSim sind die Arbeiten zum Projekt MEFISTO (Modell-, Informations- und Wissensplattform im Bauwesen, BMBF Verbundprojekt) bekannt geworden. Der projektbegleitende Austausch fand über die Projektpartner der FSG statt.

## **10 Veröffentlichungen**

Das IPMT hat in den folgenden Medien zu Themen aus dem Projekt veröffentlicht:

Nedeß, Chr.; Friedewald, A.; Wagner, L.: Robuste Termin- und Kapazitätsplanung durch Szenariosimulation. In: *Industrie Management* 26 (2010) 2, S. 45-48

Wagner, L.: Szenariobasierte Planung und Steuerung mit Simulation im Schiffbau. Diss. TU Hamburg-Harburg, 2011

Lödning, H.; Friedewald, A.; Wagner, L.: Rule-based resource allocation - an approach to integrate different levels of planning detail in production simulation. In: Bertram, V. (eds.): *9th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT '10) Proceedings*, Gubbio 2010, pp. 203-212

Nedeß, Chr.; Friedewald, A.; Wagner, L.: Verbesserte Planung durch Ablaufsimulation von Szenarien. In: Schenk, M. (Hrsg.): *Digital Engineering - Herausforderungen für die Arbeits- und Betriebsorganisation*, Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB), HAB-Forschungsbericht, GITO-Verlag, Berlin 2009, S. 239-259, ISBN 978-394001980

Lödning, H.; Friedewald, A.; Wagner, L.: Szenariosimulation mit Simulationsbaukästen. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Personal und Organisation 14. ASIM-Fachtagung, Proceedings*, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2010, S. 477-483

Steinhauer, D.; Hübler, M.; Wagner, L.; Esins, E.; Pester, P.; Friedewald, A.; Wandt, R.: *GeneSim - Generisches Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionssimulation*, Statustagung Schifffahrt und Meerestechnik 2011, Tagungsband, Rostock 2011, S. 7-23

## 11 Literaturverzeichnis

1. Becker J. Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM): Sachbericht ; [Schlußbericht] ; [Abschlußdatum des Vorhabens: 31.01.1999]. Münster, Hannover: Universitätsbibliothek u. Technische Informationsbibliothek; 1999.
2. VDI Richtlinie 3633, Vol 03.100.10. Berlin: Beuth; 1996.
3. Bangsow, Steffen: Praxishandbuch Plant Simulation und SimTalk, Anwendung und Programmierung in über 150 Beispiel-Modellen; München; Hansa-Verlag; 2011
4. Wiczorrek HW, Mertens P. Management von IT-Projekten: Von der Planung zur Realisierung. 2 ed. s.l.: Springer-Verlag; 2011.
5. Steinbuch PA. Projektorganisation und Projektmanagement: [Projektstrukturplan]. 2 ed. Moderne Organisation für Praxis und Studium. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl; 2000.
6. Rabe, Markus; Spiekermann, Sven; Wenzel, Sigrid: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik, Vorgehensmodelle und Techniken; Berlin, Heidelberg; Springer-Verlag; 2008
7. Codd EF. Extending the database relational model to capture more meaning. Research report / IBM Research Division, Vol 2599. Yorktown Heights, NY: IBM Corp; 1979.
8. Knepell PL, Arango DC. Simulation validation: A confidence assessment methodology. 2 ed. IEEE Computer Society Press monograph. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press; 1996.
9. Reibnitz U von. Szenario-Technik: Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. 2 ed. Wiesbaden: Gabler; 1992.
10. Wagner LA. Szenariobasierte Planung und Steuerung mit Simulation im Schiffbau. 1 ed. Wissen schafft Innovation, Vol 15. Hamburg, Hamburg-Harburg: Techn. Univ. Hamburg-Harburg Inst. für Produktionsmanagement und -technik; 2011.
11. Münster C. Ein Beitrag zur Grobplanung von Lagersystemen bei ungewissen Planungsdaten. Cottbus.
12. Beraldi P, Ghiani G, Guerriero E, Grieco A. Scenario-based planning for lot-sizing and scheduling with uncertain processing times. International journal of production economics. 2006;101:140–49
13. Hirsch BE. CIM in der Unikatfertigung und -montage. Berlin ;, Heidelberg ;, New York ;, London ;, Paris ;, Tokyo ;, Hong Kong ;, Barcelona ;, Budapest, Köln: Springer; Verl. TÜV Rheinland; 1992.
14. Koch JB. Unterstützung der schiffbaulichen Projektierung durch Repräsentation von Erfahrungswissen. 1 ed. Wissen schafft Innovation, Vol 1. Hamburg, Hamburg-Harburg: TUHH; 2004.
15. Kühn W. Digitale Fabrik: Fabriksimulation für Produktionsplaner. 1 ed. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag; 2006.
16. Puppe F. Einführung in Expertensysteme. Berlin [u.a.]: Springer; 1988.
17. Maßen T von der. Feature-basierte Modellierung und Analyse von Variabilität in Produktlinienanforderungen. Berichte aus der Softwaretechnik. Aachen, Aachen: Shaker; 2007.
18. Berkan RC, Trubatch SL. Fuzzy systems design principles: Building Fuzzy IF-THEN rule bases. New York, NY: IEEE Press; 1997.
19. Gottlob G, Frühwirth T, Fleischanderl G. Expertensysteme. Wien [u.a.]: Springer; 1990.

20. Friedewald A. Funktionsintegration von Arbeitsplanung und Betriebsmittelkonstruktion für Elastomerteile. Diss. TU Hamburg-Harburg 1990.
21. Rommelfanger H. Fuzzy Decision Support-Systeme. 2 ed. Heidelberg: [s.n.]; 1994.
22. Zadeh L. Fuzzy logic. Reports / STANFORD UNIV, CSLI-88-116.
23. Drechsel D. Regelbasierte Interpolation und Fuzzy control. Braunschweig ;, Wiesbaden: Vieweg; 1996.
24. Mastropasqua D, Masca N, Zambetta F. An XML-based specification of fuzzy logic controllers. In: Soft computing systems: design, management and applications.
25. Scholl A. Robuste Planung und Optimierung: Grundlagen - Konzepte und Methoden - experimentelle Untersuchungen. Techn. Univ., Habil.-Schr.--Darmstadt. Heidelberg: Physica-Verl; 2001.
26. Stalleicken U. Marktorientierte Produktion komplexer Investitionsgüter. Reihe 16, Technik und Wirtschaft, Vol 125. Düsseldorf, Hamburg-Harburg: VDI-Verl; 2001.
27. Nedeß C, Friedewald A, Neumann L. Management von Kooperationsrisiken in der Investitionsgüterindustrie - Analyse und Konzept am Beispiel des deutschen Schiffbaus. In: Innovative Kooperationsnetzwerke. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl; 2006. p. 205–31.
28. Neumann L. Risikomanagement bei der Gestaltung von Unternehmenskooperationen. 1 ed. Wissen schafft Innovation, Vol 9. Hamburg, Hamburg-Harburg: Techn. Univ. Hamburg-Harburg Inst. für Produktionsmanagement und -technik; 2009

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN entfällt	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel Abschlussbericht „Generisches Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionssimulation“	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding; Dr.-Ing. Axel Friedewald; Dr.-Ing. Lars Arne Wagner; Dipl.-Ing. Robert Wandt	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2010
	6. Veröffentlichungsdatum 31.03.2012
	7. Form der Publikation Buch
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH) Institut für Produktionsmanagement und -technik (IPMT)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution TUHH Institut: IPMT
	10. Förderkennzeichen 03SX274A
	11. Seitenzahl 82
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 10115 Berlin	13. Literaturangaben 27
	14. Tabellen 7
	15. Abbildungen 29
16. Zusätzliche Angaben entfällt	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) entfällt	
18. Kurzfassung Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung einer Methode zum szenariobasierten Daten- und Modellmanagement bei der Produktionssimulation. Dabei hat das Institut für Produktionsmanagement und -technik der TU Hamburg-Harburg eine Systematik zur Szenario-Beschreibung und -Bildung entworfen. Auf Basis dieser Systematik wurden Methoden zum Umgang mit Simulationsszenarien in der schiffbaulichen Planung entwickelt. Darunter zusammengefasst sind folgende Funktionen:  1. Szenario-Erstellung 2. Szenario-Bewertung (-Transfer) sowie die Umsetzung der Ergebnisse in robuste Pläne 3. Szenario-Archivierung zur Wiederverwendung	
19. Schlagwörter Szenario, Simulation, Datenverwaltung, Robuste Planung, Validierung und Verifikation	
20. Verlag entfällt	21. Preis entfällt

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN not app	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title final report: „Generisches Daten- und Modellmanagement für die schiffbauliche Produktionssimulation“	
4. author(s) (family name, first name(s)) Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding; Dr.-Ing. Axel Friedewald; Dr.-Ing. Lars Arne Wagner; Dipl.-Ing. Robert Wandt	5. end of project 30.09.2010
	6. publication date 31.03.2012
	7. form of publication book
8. performing organization(s) (name, address) Hamburg University of Technology (TUHH) Institute of Production Management and Technology (IPMT) Denickestraße 17  21073 Hamburg	9. originator's report no. TUHH Institut: IPMT
	10. reference no.
	11. no. of pages 82
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 10115 Berlin	13. no. of references 27
	14. no. of tables 7
	15. no. of figures 29
16. supplementary notes not app	
17. presented at (title, place, date) not app	
18. abstract The aim of the research project was the development of a method for scenario-based data and model management for the production simulation in the shipbuilding industry. Therefore, the Institute of Production Management and Technology at Hamburg University of Technology (TUHH) provides a methodology for the scenario description and development. Based on this methodology, methods for handling and comparing simulation scenarios in the planning of ship building processes have been elaborated in order to get a robust production plan Below the functions are summarized: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scenario creation</li> <li>• Scenario evaluation (transfer), and the implementation of the results in robust plans</li> <li>• Scenario for re-archiving</li> </ul>	
19. keywords Scenario, Simulation, Data Management, Robust Planning, Validation and Verification	
20. publisher not app	21. price not app