

## Gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsbericht des Projektkonsortiums

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

BETREUT VOM



**Projektträger**  
Forschungszentrum  
Karlsruhe (PTKA)

## **Baumaschinen im nationalen Hochleistungsnetzwerk rationell produzieren und kundenindividuell für den Weltmarkt montieren**

stellvertretend für das Forschungskonsortium:

Fraunhofer Institut

Produktionstechnik und Automatisierung, 2008

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, vorbehalten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Printed in Germany

Druck und Herstellung: Fraunhofer IRB

**Baumaschinen**  
**im nationalen Hochleistungsnetzwerk**  
**rationell produzieren und kundenindividuell**  
**für den Weltmarkt montieren**



**Forschungskonsortium:**

4flow AG, Berlin

PTW Technische Universität Darmstadt

Fraunhofer IPA, Stuttgart

International Performance Research Institute gGmbH, Stuttgart

Putzmeister Concrete Pumps GmbH, Aichtal

Liebherr Mischtechnik GmbH, Bad Schussenried

Claas Industrietechnik GmbH, Paderborn

ZF-Passau GmbH, Passau

Ströbele GmbH, Nürtingen

Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH, Calau

Stuttgart im November 2008

## **Autorenverzeichnis**

### **4flow AG**

Wendelin Groß

### **Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung**

Robert Hentschel

Eftal Okhan

### **Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen**

#### **Technische Universität Darmstadt**

Sven Kuhn

Felix Brungs

### **International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH**

Carsten Schwab

### **Putzmeister Concrete Pumps GmbH**

Knut Kasten

### **Liebherr Mischtechnik GmbH**

Ronald Drobek

### **ZF-Passau GmbH**

Hans Kühberger

### **Claas Industrietechnik GmbH**

Michael Dahm

### **Stöbele GmbH**

Volker Zeising

### **Caleg Schrank und Gehäusebau GmbH**

Falk Rostalski



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ausgangssituation und Zielsetzung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Aktuelle Situation in der Baumaschinenbranche in Deutschland .....	2
1.2 Branchenmerkmale und Besonderheiten bei der Herstellung mobiler Baumaschinen .....	4
1.2.1 Merkmale der Auftragsbearbeitung einer Baumaschine.....	5
1.2.1.1 Auftragsdurchlaufzeit in direkten und indirekten Bereichen .....	6
1.2.1.2 Beteiligte Funktionsbereiche.....	6
1.2.1.3 Eingesetzte Systeme .....	7
1.2.1.4 Stabilität der Auftragsdaten .....	7
1.2.1.5 Erstellung und Einsatz von Stücklisten .....	8
1.2.2 Merkmale der Versorgungsstrukturen in der Baumaschinenindustrie ....	9
1.3 Abgeleitete Zielsetzung für das Verbundprojekt BAU-MO 2008 .....	11
1.4 Projektkonsortium .....	13
1.5 Das Referenzprodukt (PUMI®) und der Referenzprozess für die Auftragsbearbeitung.....	14
<b>2 Identifizierte Potenziale und Handlungsfelder im Projekt</b> .....	<b>16</b>
2.1 Konstruktive Produktgestaltung .....	20
2.2 Prozessgestaltung in der Auftragsabwicklung .....	22
2.3 Prozessgestaltung in der Montage .....	23
2.4 Gestaltung des Produktions- und Logistiknetzwerks .....	25
<b>3 Entwickelte Lösungen für die deutsche Baumaschinenbranche</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 Optimierung der Produktgestaltung</b> .....	<b>29</b>
3.1.1 Entwicklung von vereinfachenden Modellen und Hilfsmitteln .....	30
3.1.1.1 Auftragsstypen .....	30
3.1.1.2 Regelwerk zur Optimierung einzelner Produktkomponenten.....	32
3.1.1.3 Vorgehensweise zur Optimierung von Produktstruktur und Produktarchitektur .....	43

---

3.1.1.4	Werkzeuge zur Optimierung .....	47
3.1.2	Realisierte Referenzanwendungen bei den Projektpartnern .....	54
3.1.2.1	Umsetzung bei der <i>Putzmeister Concrete Pumps GmbH</i> .....	54
3.1.2.2	Umsetzung bei der <i>Liebherr Mischtechnik GmbH</i> .....	56
3.1.2.3	Optimierung der Produktgestaltung bei <i>ZF Passau</i> am Beispiel des Mischergetriebe .....	59
3.1.2.4	Neugestaltung der Konstruktion und Konfiguration bei <i>CALEG</i> .....	60
3.1.2.5	Produkt- und Prozessoptimierung bei der <i>Ströbele GmbH</i> .....	68
<b>3.2</b>	<b>Durchgängige Prozessgestaltung in der Auftragsabwicklung, Montage und in der Materialversorgung .....</b>	<b>73</b>
3.2.1	Vorgehen beim Optimierung der Prozesskette.....	73
3.2.1.1	Aufnahme und Bewertung der Auftragsabwicklungsprozesse.....	73
3.2.1.2	Optimierung des Auftragsabwicklungsprozesses .....	75
3.2.1.3	Aufnahme und Bewertung der Produktions- und Montageprozesse	77
3.2.1.4	Optimierung der Produktions- und Montageprozesse .....	82
3.2.1.5	Aufnahme und Bewertung der Versorgungsprozesse .....	88
3.2.1.6	Konfigurationssystematik für Versorgungsprozesse.....	94
3.2.1.7	Dynamische Simulation und Optimierung von Lieferantenkapazitäten 100	
3.2.2	Realisierte Beispielanwendungen bei den Projektpartnern .....	105
3.2.2.1	Neugestaltung der Auftragsabwicklung bei der <i>Putzmeister Concrete Pumps GmbH</i> .....	105
3.2.2.2	Neugestaltung der Auftragsabwicklung und Montage bei der <i>Liebherr Mischtechnik GmbH</i> .....	108
3.2.2.3	Grundlegende Veränderungen in der Mischergetriebemontage und im innerbetrieblichen Warenverkehr bei der <i>ZF-Passau GmbH</i> .....	111
3.2.2.4	Prozessoptimierung bei <i>CLAAS Industrietechnik GmbH</i> .....	113
3.2.2.5	Neugestaltung der Auftragsabwicklung und Montage bei <i>CALEG</i> .	121

---

<b>3.3 Integrierte Netzwerkkonfiguration und Kapazitätsvisualisierung .....</b>	<b>126</b>
3.3.1 Softwaregestütztes Konfigurieren.....	126
3.3.2 Idealtypische Beschreibung, realtypische Konzeption und prototypische Umsetzung .....	128
3.3.2.1 Methodik zur Entwicklung eines Lastenhefts .....	129
3.3.2.2 Funktionale Anforderungen an eine Branchenlösung (Idealsystem) 130	
3.3.2.3 Umsetzung ausgewählter Funktionen (Realsystem) .....	132
3.3.3 Beschreibung des Prototyps zur Produkt- und Netzwerkkonfiguration (PNK) .....	134
3.3.3.1 Einführung in die Standardsoftware 4flow vista .....	135
3.3.3.2 Datenstruktur der PNK-Software .....	137
3.3.3.3 Konfigurationstypologie in der Anwendung .....	140
3.3.3.4 Statische Kapazitätsanalyse im Netzwerk .....	145
3.3.3.5 Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk.....	147
3.3.3.6 Schnittstellen für den Datenaustausch .....	148
3.3.4 Anwendungsspektrum des Softwarewerkzeugs und Abgrenzung zu bestehenden Tools.....	151
3.3.4.1 Einsatz im Vertrieb .....	152
3.3.4.2 Einsatz in der Prozess- und Netzwerkplanung .....	153
3.3.4.3 Betrieb der Software bei fokalen Unternehmen .....	153
3.3.4.4 Verteilten Betrieb der Software im Netzwerk .....	154
3.3.5 Anwendungsfälle (Use-Cases) .....	155
3.3.5.1 Auftragsbewertung .....	156
3.3.5.2 Kapazitätsanalyse .....	157
3.3.5.3 Interpretation der Ergebnisse .....	158
<b>3.4 Betriebswirtschaftliche Bewertung von Prozessen und Produktvarianten</b>	<b>160</b>
3.4.1 Varianten und Variantenvielfalt.....	160
3.4.2 Variantenmanagement.....	163

---

3.4.3 Variantenbewertung .....	164
3.4.3.1 Aufgaben .....	164
3.4.3.2 Methodische Grundlagen .....	165
3.4.3.3 Toolbasierte Variantenbewertung.....	167
3.4.3.4 Vorgehensweise zur Variantenbewertung .....	168
3.4.4 Realisierte Beispielanwendungen bei der <i>Liebherr Mischtechnik GmbH</i> 181	
<b>4 Fazit und Ausblick.....</b>	<b>183</b>
4.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse.....	183
4.2 Fazit .....	185
4.3 Ausblick auf Themen in der Anschlussforschung .....	186
4.3.1 Feature-basierte Kostenbewertung im Netzwerk.....	186
4.3.1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	186
4.3.1.2 Forschungsansatz .....	186
4.3.1.3 Nutzen für Unternehmen .....	186
4.3.2 Getaktete Standplatzmontage im Großmaschinenbau.....	187
4.3.2.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	187
4.3.2.2 Forschungsansatz .....	187
4.3.2.3 Nutzen für Unternehmen .....	189
4.3.3 Echtzeitfähige Prozesskontrolle durch den Einsatz von RFID- Technologie in der Maschinenmontage.....	189
4.3.3.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	189
4.3.3.2 Forschungsansatz .....	190
4.3.3.3 Nutzen für Unternehmen .....	190
Literaturverzeichnis .....	XV

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vision der 20-Tage Baumaschine und der Projektfokus .....	1
Abbildung 2: Verlauf des Auftragseingangs der Baumaschinenindustrie in Deutschland .....	3
Abbildung 3: Entwicklung der Änderungskosten.....	8
Abbildung 4: Beschaffungsstruktur eines Baumaschinenherstellers .....	9
Abbildung 5: Aufgabenstellungen und Herausforderungen im Projekt .....	11
Abbildung 6: Umfang der Projektziele BAU-MO 2008 .....	12
Abbildung 7: Mitglieder des Forschungskonsortium BAU-MO 2008 .....	13
Abbildung 8: PUMI der Firma Putzmeister Concrete Pumps GmbH.....	14
Abbildung 9: Zentrale Komponenten einer Fahrmischerbetonpumpe.....	15
Abbildung 10: Identifizierte Hauptursachen für lange Durchlaufzeiten .....	16
Abbildung 11: Zuordnung von Potenzialen zur Wirkungsrichtung .....	18
Abbildung 12: Stellhebel für die Optimierung in der Baumaschinenproduktion .....	18
Abbildung 13: Zuordnung von Potenzialen zu Themengebieten .....	19
Abbildung 14: Herausforderungen für die konstruktive Produktgestaltung .....	20
Abbildung 15: Übersicht entwickelter Lösungen im Projekt BAU-MO 2008.....	28
Abbildung 16: Vorgehensweise zur Ermittlung von Auftragstypen .....	31
Abbildung 17: Ergebnis einer Ermittlung von Auftragstypen.....	32
Abbildung 18: Regelwerk zur Optimierung der Produktkomponenten .....	33
Abbildung 19: Aufbau des Regelwerks zur Produktgestaltung .....	34
Abbildung 20: Struktur des Regelwerks für Fertigung und Montage.....	36
Abbildung 21: Struktur des Regelwerks für Logistik .....	38
Abbildung 22: Struktur des Regelwerks für Flexibilität.....	39
Abbildung 23: Struktur des Regelwerks für Variantenreduzierung .....	42
Abbildung 24: Vorgehen zur prozess- und funktionsorientierten Modularisierung....	45
Abbildung 25: Startmaske des Software-Prototyps für das Regelwerk.....	48
Abbildung 26: Anlegen von Anwenderprofilen .....	48
Abbildung 27: Verwaltung von Stücklisten.....	49

---

Abbildung 28: Verwaltung von einzelnen Bauteilen.....	49
Abbildung 29: Übersichtsdarstellung ausgewählter Konstruktionsregeln .....	50
Abbildung 30: Eingabemaske zur Definition von Bewertungsprofilen.....	51
Abbildung 31: Eingabemaske für neue Regeln.....	51
Abbildung 32: Eingabemaske für Synergien und Widersprüche zwischen Regeln...	51
Abbildung 33: Überblick über Abhängigkeiten zwischen Konstruktionsregeln am Beispiel der Synergien .....	52
Abbildung 34: Anwendung der entwickelten Werkzeuge im Produktentstehungsprozess.....	53
Abbildung 35: Modell eines Demonstrators PUMI® der PCP GmbH.....	55
Abbildung 36: Hauptmodule der PUMI®.....	56
Abbildung 37: Untersuchte Stellen und Bauteile im Konstruktionsbenchmark.....	58
Abbildung 38: Die Konstruktion des neuen ECOMIX2-Getriebe.....	60
Abbildung 39: Auswahl der Gehäuseart im caleg-Konfigurator .....	62
Abbildung 40: Auswahl von Gestaltungsregeln im caleg-Konfigurator .....	63
Abbildung 41: Hinzufügen von Ausstattungen im caleg-Konfigurator.....	64
Abbildung 42: Erstelltes Angebot im caleg-Konfigurator.....	65
Abbildung 43: CAD-Zeichnungen des caleg-Konfigurators .....	66
Abbildung 44: Erstellte Stückliste im caleg-Konfigurator .....	67
Abbildung 45: Steuerschrank PUMI für Putzmeister Concrete Pumps GmbH.....	68
Abbildung 46: Abbildung der Modulbauweise in der IT - Umgebung.....	69
Abbildung 47: Fertigungsmodell mit Kanban-Quellen.....	70
Abbildung 48: Modulare Prüftechnik.....	71
Abbildung 49: Modulare Prüfsoftware.....	72
Abbildung 50: Szenarienbildung als Basis für die Prozessaufnahme .....	73
Abbildung 51: Prozessaufnahme und Aufwandsbewertung pro Szenario .....	74
Abbildung 52: Kopplung der Prozesse mit den Szenarien.....	74
Abbildung 53: Rückwärtsterminierung in indirekten Bereichen.....	76
Abbildung 54: Reihenfolgeoptimierte Auftragsbearbeitung in indirekten Bereichen.	77
Abbildung 55: Planungsablauf im BAU-MO 2008-Montagereferenzprozess .....	79

---

Abbildung 56: Konzept des Montageprozessmoduls.....	80
Abbildung 57: Abbildung von Montageprozessen.....	81
Abbildung 58: Ist-Zustand der Vernetzung von Planungsdaten in Montageplanungsprojekten .....	83
Abbildung 59: Modell einer integrierten Montage- und Logistikplanung .....	84
Abbildung 60: Kopplung der Montage- und Logistikplanung .....	85
Abbildung 61: Werkzeug zur variantengerechte Prozessgestaltung in der Montage	86
Abbildung 62. Repräsentantenbasiertes Planungsvorgehen.....	86
Abbildung 63 Versorgungsprozesse und die Ermittlung des Logistikaufwands in der Montage .....	87
Abbildung 64: Simulation und Absicherung des Planungsergebnisses .....	88
Abbildung 65: Grundaufbau der Optimierungssystematik .....	91
Abbildung 66: Standardisierte Datenaufnahme und –analyse im Lieferantenaudit...	92
Abbildung 67: Ergebnisdarstellung der Analysedaten aus dem Lieferantenaudit.....	93
Abbildung 68: Anforderungen an die Logistik-Gestaltung.....	95
Abbildung 69: Vorgehen in der Konfiguration von Versorgungsprozessen.....	99
Abbildung 70: Grobkonzept für den Ablauf der Kapazitätssimulation .....	102
Abbildung 71:Vorgehen zur Erstellung des Simulationsmodells.....	103
Abbildung 72: Dynamische Bewertung logistischer Zielgrößen im Netzwerk .....	104
Abbildung 73: Neue PUMI®-Montage der Putzmeister Concrete Pumps GmbH mit Linienmontage.....	106
Abbildung 74: Durchgängige Nutzung der Auftragsdaten in der Prozesskette .....	109
Abbildung 75: Die neue Montagelinie für Fahrmischer .....	110
Abbildung 76:Das neue Montagekonzept für die Mischergetriebe.....	112
Abbildung 77: Werkstruktur der CIT .....	114
Abbildung 78: Montageplatz Putzmeister-Verteilergetriebe mit Werkzeugbereitstellung.....	117
Abbildung 79: Materialbereitstellung am Montageplatz Verteilergetriebe .....	117
Abbildung 80: Putzmeister-Verteilergetriebe G64C nach erfolgreichem Prüflauf ...	118
Abbildung 81: Rondell mit Fließmontage Schaltgetriebe .....	119
Abbildung 83: Putzmeister-Verteilergetriebe G64C in Serie .....	120

---

Abbildung 84: ERP-Nutzen.....	122
Abbildung 85: Prozessablauf der Auftragsabwicklung.....	123
Abbildung 86: Layoutplanung der Caleg-Montagehalle .....	124
Abbildung 87: Entstehung der Montagehalle .....	125
Abbildung 88: Lastenheft und Pflichtenheft als Grundlage für die Entwicklung eines Prototyps .....	129
Abbildung 89: Module und zugeordnete Funktionen des Softwareprototyps.....	134
Abbildung 90: 4flow vista – die Standardsoftware zur Logistikplanung .....	135
Abbildung 91: Planungsebenen in 4flow vista .....	136
Abbildung 92: Produktstruktur im Softwareprototyp.....	138
Abbildung 93: Funktionsbereiche und Detailprozesse im Anwendungsfall.....	139
Abbildung 94: Das Netzwerkmodell im Prototypen.....	140
Abbildung 95: Schematisches Vorgehen bei der integrierten Konfiguration .....	141
Abbildung 96: Definition des Produkts.....	142
Abbildung 97: Selektion der Prozesse.....	142
Abbildung 98: Konfiguration des Versorgungsnetzwerks .....	143
Abbildung 99: Ausgabeformate des Analyseergebnisses.....	144
Abbildung 100: Analyseergebnis Kapazitätsauslastung und Rückstand .....	145
Abbildung 101: Analyseergebnis Vorlauf.....	146
Abbildung 102: Zeitkritischer Pfad im Produktionsnetzwerk .....	148
Abbildung 103: Format der Absatzprognose Import .....	149
Abbildung 104: Format der Import- / Exportschnittstelle Prozesse.....	150
Abbildung 105: Format der Import- / Exportschnittstelle Produkt.....	150
Abbildung 106: Format der Import- / Exportschnittstelle Kapazitäten .....	151
Abbildung 107: Planungsaufwand und Einsatz der Software in den Phasen des Produktlebenszyklus .....	152
Abbildung 108: Konzept für den verteilten Betrieb der Software .....	155
Abbildung 109: Use-Case 1: Ausgangslage, Vorgehen und Ergebnis.....	157
Abbildung 110: Use-Case 2: Ausgangssituation, Vorgehen und Ergebnis .....	158
Abbildung 111: Gesamtlösung aus Leitfaden und Tool .....	160



---

Abbildung 112: Systematisierung der Variantenbegriffe.....	162
Abbildung 113: Vorgehensweise bei der Prozessanalyse .....	169
Abbildung 114: Funktionsweise des TD ABC am Beispiel Konstruktion.....	171
Abbildung 115: Beispiel einer Zeitverbrauchsfunktion .....	172
Abbildung 116: Startseite des Tools .....	173
Abbildung 117: Modellierung der Kostenstellen.....	174
Abbildung 118: Modellierung der Personalressourcen .....	175
Abbildung 119: Gesamtübersicht modellierter Kostenstellen (Ausschnitt).....	175
Abbildung 120: Hauptprozesse im Bereich Materialwirtschaft.....	176
Abbildung 121: Modellierung von Teilprozessen .....	177
Abbildung 122: Bewertung der laufenden Kosten.....	178
Abbildung 123: Bewertung des Einmalaufwands.....	179
Abbildung 124: Auswertungsfunktion .....	179
Abbildung 125: Definierter Prozess der Variantenbewertung .....	180
Abbildung 126: Ergebnis der Variantenkostenanalyse .....	182
Abbildung 127: Übersicht über BAU-MO 2008 Projektergebnisse.....	183

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Übersicht der wichtigsten Methoden zur Modularisierung.....	43
Tabelle 2: Übersicht der Funktionen im Lastenheft .....	130
Tabelle 3: Funktionsübergreifende Basismodelle im Lastenheft.....	131
Tabelle 4: Bewertungskriterien und Gewichtung .....	132
Tabelle 5: Priorisierte Rangliste der Funktionen .....	133
Tabelle 6: Ausgewählte Maßnahmen und Nutzen für Unternehmen .....	185

## Abkürzungsverzeichnis

ABS	Anbausätze für kundenspezifische Pumpenkombinationen
AV	Arbeitsvorbereitung
BAU-MO 2008	ein vom BMBF-gefördertes Vorhaben mit dem Titel: „Baumaschinen im nationalen Hochleistungsnetzwerk rationell produzieren und kundenindividuell montieren“
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIT	CLAAS Industrietechnik GmbH
CPDP	CLAAS Part Development Process (CLAAS-Entwicklungsprozess)
EDI	Electronic Data Interchange
G550C	Pumpenverteilergetriebe für höhere Pumpen- und Durchtriebsleistung als heutige Serie
G64C	Pumpenverteilergetriebe in der heutigen Serie
G64C+	Pumpenverteilergetriebe G64C mit Modifikationen
IPA	Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
IPRI	International Performance Research Institute gGmbH
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MIM	Module Indication Matrix
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDM	Product Data Management
PKR	Prozesskostenrechnung
PLM	Product Life Cycle Management
PM	<i>Putzmeister Concrete Pumps GmbH</i>
PMA	<i>Putzmeister Of America</i>
PMS	<i>Putzmeister Shanghai</i>
PNK	Produkt- und Netzwerkkonfigurator

---

PTW	Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen
PUMI	Pumpen-Mischer = Kombinationsfahrzeug mit einer Betonpumpe und einem Mischbehälter
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
TD ABC	Time-Driven Activity-Based Costing
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis
WSP	Werkstrukturplanung in der CIT

# 1 Ausgangssituation und Zielsetzung

In der Baumaschinenindustrie ist eine effektive und effiziente Auftragsabwicklung zunehmend Erfolgsfaktor. Die Projektierung und Herstellung von Baumaschinen ist durch kundenindividuelle konstruktive Änderungen, mehrstufige Versorgungsketten und Montagen mit hohen Arbeitsinhalten gekennzeichnet. Die bestehenden Prozesse und Systeme in der Auftragsabwicklung und in der Montage sind in Zukunft nicht mehr ausreichend, um den Anforderungen an Durchlaufzeiten und Produktivität zu genügen.

Die Herstellung von Baumaschinen unterliegt enormen Nachfrageschwankungen und hohen Anforderungen hinsichtlich kundenindividueller Produktkonfiguration, großer Stückzahlenvarianz bis Losgröße 1 und kurzen Lieferzeiten. Die Kunden fordern eine Verkürzung der Lieferzeiten und wollen zukünftig die Bestellung erst mit gültigem Bauauftrag tätigen, um ihr Einkaufsrisiko zu minimieren. Diese Herausforderung kann nicht mehr allein über die Optimierung der Lieferantennetzwerke bewältigt werden, sondern erfordern neue und integrative Lösungen, die alle Prozesse von der Produktentwicklung bis zur Produktionsendstufe, der Montage, beinhalten. Das Verbundprojekt hat sich zum Ziel gesetzt, mit neuen Methoden und Konzepten die Entwicklung und Herstellung von Baumaschinen innerhalb von 20 Tagen nach Auftrags-eingang zu ermöglichen (siehe Abbildung 1).

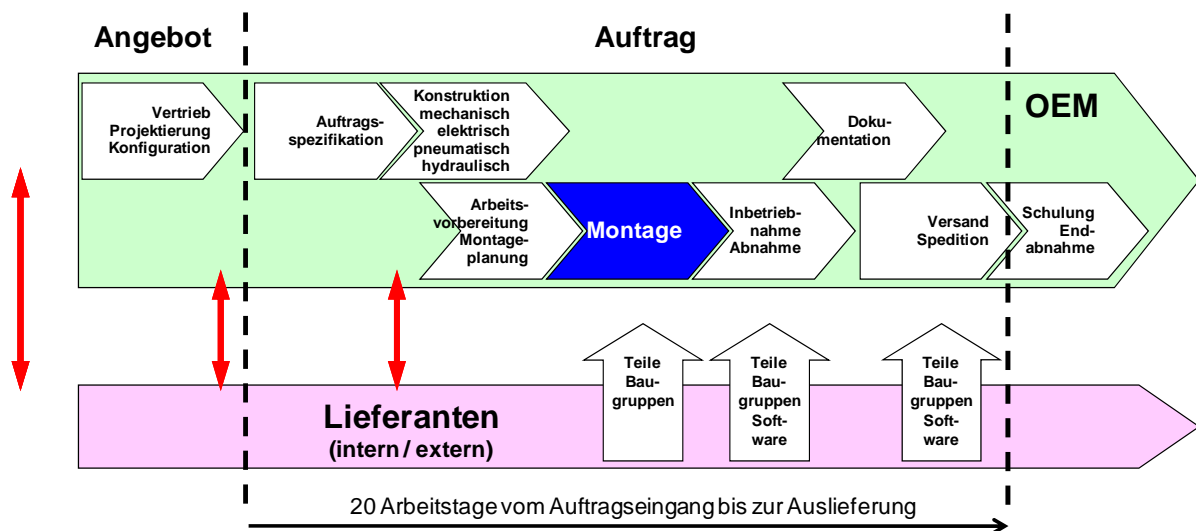


Abbildung 1: Vision der 20-Tage Baumaschine und der Projektfokus

[Quelle: BAU-MO 2008-Projektantrag]

Im Projektfokus von BAU-MO 2008 stand dabei die Montage und die Frage, wie die vor- und nachgelagerten Prozessstufen und die Schnittstellen zu den internen und

externen Lieferanten gestaltet sein müssen, um eine rationelle Montage mit einem Minimum an Verschwendung und Verweilzeit zu gewährleisten. Vor diesem Hintergrund wurden seit Anfang 2006 in Zusammenarbeit eines Konsortiums von Baumaschinen- und Komponentenherstellern sowie Forschungs- und Beratungspartnern die bestehenden Prozessketten untersucht und Lösungen für einen Realisierungszeitraum von drei Jahren entwickelt.

### 1.1 Aktuelle Situation in der Baumaschinenbranche in Deutschland

Die Baumaschinenindustrie hat in Deutschland eine lange Tradition. Hier liegen die Ursprünge des Mobilkrans, des Hydraulikbaggers, des Radladers und der Betonpumpe, um nur einige Beispiele zu nennen.

Aus den mittelständischen Unternehmen der Gründertage sind „Global Player“ geworden, mit Vertriebsniederlassungen und Produktionsstätten in der ganzen Welt. Namen wie *Liebherr*, *Putzmeister* und *Wirtgen* sind nur einige der geläufigen Namen. Aber auch internationale Hersteller wie zum Beispiel *Volvo*, *Komatsu* und *Terex* investieren am Standort Deutschland. Knapp 43.000 Mitarbeiter sind hier derzeit in der Baumaschinenindustrie beschäftigt.<sup>1</sup>

Die Herstellung von Baumaschinen ist insbesondere in Deutschland ein stark dynamisches Geschäft mit zahlreichen Turbulenzen. Diese sind unter anderem an Schwankungen bei Auftragseingang und Beschäftigungsniveau sehr gut sichtbar.

Im Branchensegment der „Bau- und Baustoffmaschinen“, die in den zurückliegenden Jahren konjunktur- und strukturbedingt vergleichsweise viel „Lehrgeld“ zahlen mussten, war in den acht Jahren von 1998 bis 2004 ein Beschäftigungsverlust von nahezu 25% zu verzeichnen.<sup>2</sup> Diese Branche ist im Bereich der Sonderkonstruktionen bei geringen Stückzahlen z.T. noch handwerklich strukturiert, hat aber eine Exportquote von über 70% und einen Weltmarktanteil von ca. 15%. Dies macht die gesamte Branche insgesamt stark anfällig für Auf- und Abwärtsbewegungen auf den Weltmärkten. Ein Auftragsrückgang in einer vermeintlichen „Boom-Region“ trifft somit die Unternehmen besonders hart.

---

<sup>1</sup> Vgl. VDI-Nachrichten Ausgabe 17, S.1 und S.12, 2008

<sup>2</sup> vgl. VDMA, Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen e.V. Branchenkennzahlen 2003

Die Dynamik in Auftragseingang und Branchenumsatz setzte sich im weiteren Zeitverlauf fort. Wurde noch zu Beginn der Antragsphase des Projekt BAU-MO 2008 im September 2005 Umsatzsteigerungen von 17% innerhalb eines Jahres realisiert, so sind innerhalb des letzten Jahres die im Wesentlichen vom Export eingebrachten Auftragsvolumina stark abgeschmolzen (siehe Abbildung 2).

Zwar konnten im Jahr 2008 noch die avisierten 8% Umsatzsteigerungen erreicht werden, aber der starke Einbruch der Auftragseingänge um 23% und die Auswirkungen der Immobilien- und Finanzkrise insbesondere in den USA, England und Spanien macht der Branche verstärkt Sorgen.<sup>3</sup>

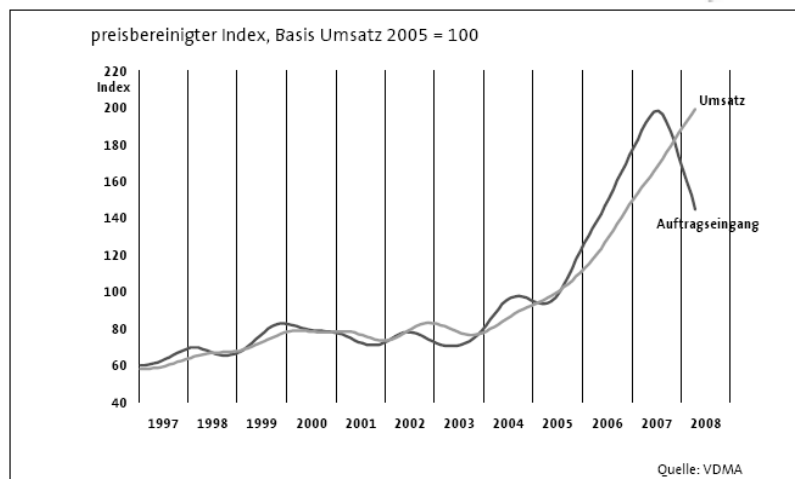


Abbildung 2: Verlauf des Auftragseingangs der Baumaschinenindustrie in Deutschland

(Quelle: VDMA)

Die Baumaschinenindustrie ist also erneut im Umbruch. Desto lauter werden die Rufe nach „robusten Strukturen“, „flexible Kapazitäten“, „Effizienzsteigerung“ und „kurzen Lieferzeiten“.

Die Aufgabenstellungen aus dem Projekt BAU-MO 2008 bleiben auch nach Projektende für Hersteller und Komponentenlieferanten ebenso relevant und interessant wie zu Projektbeginn.

<sup>3</sup> Vgl. VDMA, Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen, 2008

## 1.2 Branchenmerkmale und Besonderheiten bei der Herstellung mobiler Baumaschinen

Die Baumaschinenbranche zeichnet sich durch zahlreiche Besonderheiten aus, die bei den Bemühungen um kundenspezifische, aber dennoch standardisierte und damit schnell herzustellende Produkte berücksichtigt werden müssen. Diese besonderen Merkmale der Baumaschinenindustrie stellten sich im Rahmen der Analyse und bei der Überprüfung der Übertragbarkeit bestehender Konzept heraus. Sie haben Auswirkungen auf die zu gestaltenden Lösungen bzw. Hilfsmittel zur Produkt-, Prozess und Netzwerkgestaltung. Im Folgenden sind einige dieser Besonderheiten angeführt.

Die Produkte weisen im Vergleich zur Konsumgüterindustrie, zur Automobilindustrie sowie zu anderen Branchen des Maschinen- und Anlagenbaus relativ lange Lebenszyklen auf, da die zu Grunde liegenden Basistechnologien in den vergangenen Jahren keinen umwälzenden Veränderungen unterlagen. Die lange Lebensdauer der Produkte führt zu zahlreichen Varianten, weil aufgrund sich ändernder Marktanforderungen und technologischer Entwicklungen neue Produktvarianten erzeugt werden und bestehende weiterhin angeboten werden. Meist werden nur Weiterentwicklungen vorgenommen, komplette Neuentwicklungen eines Produkts sind selten und betreffen dann nur einzelne Module des Produkts. Die grundlegende Struktur bzw. der Aufbau des Produkts wurden in langjährigen Entwicklungsarbeiten optimiert, so dass sich Verbesserungen durch einfache konstruktive Änderungen kaum erzielen lassen. Im Rahmen der Gestaltung von einzelnen Modulen und Baugruppen sind jedoch vielfältige Potenziale vorhanden.

Die hohe Anzahl an Produktvarianten wird durch die unterschiedlichen Anforderungen der Kunden und die zahlreichen Einsatzbedingungen (z. B. in Ländern mit unterschiedlichen Vorschriften) verursacht. Die hohe Konkurrenz bewirkt, dass die Hersteller den Forderungen der Kunden nachkommen müssen, um Aufträge akquirieren zu können. Die Folge ist jedoch ein hoher zusätzlicher Aufwand in den verschiedenen Prozessen und Funktionsbereichen des Unternehmens. Bei mobilen Baumaschinen beispielsweise ist insbesondere die starke Abhängigkeit von den verwendeten Fahrzeugchassis zu beachten; hierdurch werden zahlreiche Produktvarianten verursacht, die keinen Mehrwert für den Kunden erzeugen.



Beim Einsatz der Baumaschinen im Feld treten hohe mechanische Belastungen an allen Komponenten und an den Oberflächen auf.<sup>4</sup> Zahlreiche Länder haben unterschiedliche Sicherheitsvorschriften; dies erhöht die Varianz auf Teile- und Endproduktebene, weil die Maschinen dementsprechend ausgelegt sein müssen, um den Sicherheitsanforderungen des Lieferlands zu genügen. Die technische Herausforderung besteht also darin, gleichzeitig alle Aufbaurichtlinien und Sicherheitsvorschriften der Zielmärkte erfüllen zu können und die Varianz in der Konstruktion und in der Prozesskette Produktion zu beherrschen.

Die Kosten spielen bei diesen Produkten eine herausragende Rolle. Zahlreiche Anbieter von mobilen Baumaschinen können mit geringeren Lohnkosten als am Standort Deutschland produzieren. Dieser Lohnkostennachteil wird derzeit vor allem durch die Beherrschung und federführende Entwicklung von Produkt- und Prozessinnovationen kompensiert. Ebenso werden mögliche Kostennachteile durch eine hohe Auslieferqualität und eine hohe Prozesssicherheit mit hoch qualifizierten Fachkräften überkompensiert. Um die Wettbewerbsfähigkeit dauerhaft sicherzustellen ist es darüber hinaus aber notwendig, Nachteile insbesondere aufgrund von unterschiedlichen Lohnkostensätzen durch die Optimierung der Prozessketten weiter zu eliminieren.

Ein weiteres wichtiges Entscheidungsmerkmal für die Kunden sind darüber hinaus kurze Lieferzeiten. Da die Aufträge der Maschinenbetreiber, d.h. der Kunden, nicht ausreichend lange im Voraus bekannt sind, erwarten die Kunden von den Maschinenherstellern kurze Lieferzeiten. Zu lange Durchlauf- und damit Lieferzeiten sind für den Kunden nicht akzeptabel und führen vielfach zu einem Wechsel des Anbieters.

### **1.2.1 Merkmale der Auftragsbearbeitung einer Baumaschine**

Baumaschinen sind Produkte mit relativ hohem Standardisierungsgrad, die in der Regel kundenneutral gefertigt und kundenindividuell montiert werden. Kundenindividuelle Entwicklung und Anpasskonstruktion gehören trotzdem zum Tagesgeschäft und prägen sehr stark die Auftragsbearbeitungsprozesse. Diese Prozesse lassen sich anhand folgender Kriterien klassifizieren, die anschließend kurz beschrieben werden.

---

<sup>4</sup> Hohe Belastungen resultieren bspw. durch Abrasiveffekte an Fördereinrichtungen, Belastung durch hohe Zuladungen oder Verschmutzungen durch den Einsatz im Gelände bzw. durch Witterung.

- Auftragsdurchlaufzeit in direkten und indirekten Bereichen
- Beteiligte Funktionsbereiche
- Eingesetzte Systeme
- Stabilität der Auftragsdaten
- Erstellung und Einsatz von Stücklisten

#### 1.2.1.1 Auftragsdurchlaufzeit in direkten und indirekten Bereichen

Die relativ langen Durchlaufzeiten in den indirekten Bereichen von der ersten Kundenanfrage bis zur Erstellung der Produktionsaufträge sowie Bestellvorschläge für Kaufteile sind kennzeichnend für die Branche. Teilweise ist die Durchlaufzeit eines Auftrages in indirekten Bereichen genauso lang wie in den Bereichen Fertigung und Montage zusammen. Die Bearbeitung und die Übergabe der Aufträge in indirekten Bereichen erfolgt vorwiegend sequenziell. In der Regel werden komplette Aufträge mit allen Positionen weitergegeben.

#### 1.2.1.2 Beteiligte Funktionsbereiche

Bei der Bearbeitung der Aufträge sind folgende Funktionsbereiche involviert:

##### Vertrieb:

Die manuelle Konfiguration einer Baumaschine und Erstellung eines Angebotes wird durch den Vertriebsmitarbeiter durchgeführt. Ggf. findet eine Vorabsprache mit der Entwicklung / Konstruktionsabteilung statt. Je nach Reifegrad des Produktes werden u.U. neue Konstruktionsvarianten erzeugt. Wird diese kundenspezifische Variante mehrfach verkauft oder wird angenommen, dass diese Variante sich mehrfach verkaufen lässt, wird diese zum Standard deklariert und dementsprechend in den Angebotssystemen als neue Standard-Variante abgebildet.

##### Technik (Konstruktion / Entwicklung):

Aufgrund auftragsspezifischer Konstruktionsarbeiten ist der Bereich Technik in der Baumaschinenherstellung bei der Auftragsabwicklung stark involviert. Das Aufgabenspektrum erstreckt sich von der Erzeugung von neuen Varianten bis zur Erstellung von Konstruktions- / Produktionsstücklisten, technischen Zeichnungen sowie Abstimmung der technischen Spezifikationen mit den Lieferanten, wenn ein auftragsspezifisches Kaufteil benötigt wird.

### Arbeitsvorbereitung:

Die vom Bereich „Technik“ freigegebene Produktionsstückliste inkl. neuer Varianten dient als Basis für die nachfolgenden Tätigkeiten im Bereich Arbeitsvorbereitung. Werden für einen Auftrag neue Baugruppenvarianten erzeugt, so werden für diese Arbeitspläne erstellt und freigegeben. Aufgrund der relativ geringen Stückzahlen einiger Baugruppenvarianten und der geringen Wiederholhäufigkeit werden die Arbeitspläne der „Langsamläufer“ überprüft und der Auftrag für die Produktion freigegeben. Durch diese Freigabe werden Fertigungsaufträge erzeugt und unter Berücksichtigung der Lagerbestände und Bedarfstermine Beschaffungsvorschläge generiert.

#### 1.2.1.3 Eingesetzte Systeme

Aufgrund der auftragsspezifischen Anpassungen und der Erzeugung auftragsspezifischer Bauteil- und Baugruppenvarianten kommen neben den klassischen ERP-Systemen auch Tools zum Produktdatenmanagement (PDM) sowie unternehmensspezifische Individuallösungen zum Einsatz. Der Einsatz von IT-technischen Lösungen in der Angebotsphase ist je nach Unternehmen stark unterschiedlich. Teilweise kommen innerhalb eines Unternehmens für unterschiedliche Produktfamilien und Vertriebskanäle unterschiedliche IT-Lösungen zum Einsatz. Die Bandbreite der eingesetzten Lösungen erstreckt sich von einfachen Word®- und Excel®-Vorlagen bis hin zu professionellen Konfigurationssystemen mit automatischer Angebotserstellungsfunktion sowie der Verwaltung der Angebotstexte in unterschiedlichen Sprachen. Im Bezug auf die Durchgängigkeit der eingesetzten Lösungen gibt es einen hohen Integrationsbedarf. Die fehlende Integration der Lösungen führt zur inkonsistenten Daten in Systemen und redundanter Arbeit in unterschiedlichen Bereichen. Unterschiedliche Datenbestände führen zu Fehlern und Konflikte zwischen den Funktionsbereichen. Die Fehler lassen sich nur mit Zusatzaufwand auf Kosten des eigenen Unternehmens beheben. Die Übergabe der Auftragsdaten im Netzwerk zwischen den Partnerunternehmen erfolgt selten automatisch über eine Standardschnittstelle. Bestellungen und Abrufe per Fax und handschriftlich sind keine Seltenheit.

#### 1.2.1.4 Stabilität der Auftragsdaten

Die Änderung der Auftragsdaten innerhalb der Bearbeitungszeit, d.h. nach der Auftragsbestätigung, ist keine Ausnahme. Die Anzahl der Änderungen ist teilweise höher

als die Anzahl der Aufträge, die innerhalb einer definierten Periode bearbeitet werden. Der Aufwand für die Einarbeitung der Änderungen steigt exponentiell mit zunehmendem Fortschreiten in der Prozesskette. Der größte Aufwandssprung erfolgt dann, wenn der Auftrag bereits in direkten Bereichen (Fertigung / Montage) bearbeitet wird (siehe Abbildung 3).

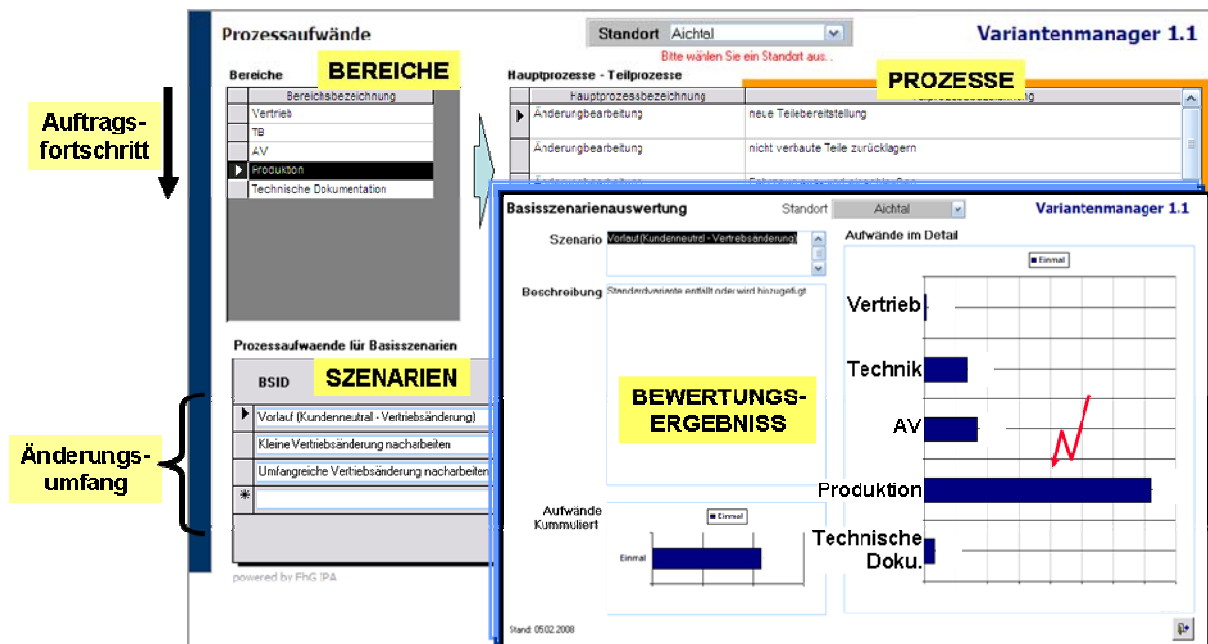


Abbildung 3: Entwicklung der Änderungskosten (Nachtragskosten)

#### 1.2.1.5 Erstellung und Einsatz von Stücklisten

Die Hoheit für die Erstellung der Stücklisten liegt im Bereich Konstruktion / Technik. Dies gilt sowohl für Konstruktions- als auch für Produktionsstücklisten. Für jeden Auftrag wird eine auftragsspezifische Produktionsstückliste erzeugt. Aufgrund unterschiedlicher Ausrüstungszustände der verkauften Baumaschinen und der Existenz von kundenspezifischen Varianten gehört die Produktionsstückliste zu den wichtigsten Steuerungsinstrumenten. Da bestimmte Komponenten direkt beim Kunden bzw. Einsatzort der Baumaschine montiert werden, müssen diese Komponenten (Beistellteile) bei der Ermittlung des Materialbedarfstermins und beim Aufbau der Stücklisten berücksichtigt werden, um die Materialliegezeiten und den logistischen Aufwand gering zu halten. Für jede verkaufte Baumaschine wird eine eigene Variantenummer erzeugt. Dies ist zum Teil dadurch begründet, dass der Wiederholgrad einer Endproduktvarianten  $< 1\%$  liegt.

### 1.2.2 Merkmale der Versorgungsstrukturen in der Baumaschinenindustrie

Die Versorgungsstrukturen in der Baumaschinenindustrie sind heterogen und umfassen eine Vielzahl von Teilen und Warengruppen (siehe Abbildung 4).

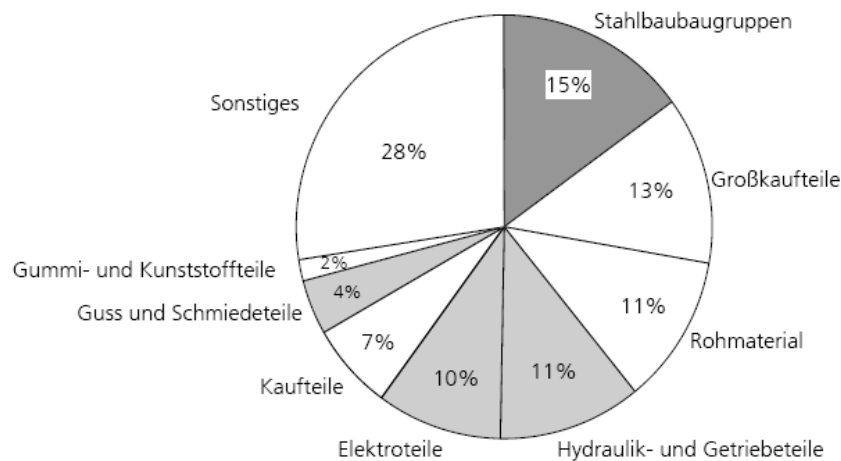


Abbildung 4: Beschaffungsstruktur eines Baumaschinenherstellers [Quelle: Baumaschinenhersteller]

Eine Vielzahl von Bauteilen wird aufgrund spezifischer Technologie und Produktwissen von großen Unternehmen bezogen, die teilweise einziger Anbieter in der gesamten Branche und damit Engpasslieferanten sind. Aufgrund der relativ geringen Abnahmemengen der Hersteller bezogen auf die gesamte Produktionsleistung dieser Lieferanten sind die Kunden-Lieferanten-Beziehungen und die Integration der Lieferanten in den Herstellprozess im Vergleich zur Automobilindustrie noch schwach. So werden oft Serienbauteile wie bspw. Kugellager, Separatmotoren oder Getriebe bei hoher Lieferantenauslastung und stark schwankenden Bedarfen in jedem Auftrag zum Engpass und damit durchlaufzeitkritisch.

Ein anderes Cluster von Lieferanten bilden die Komponentenhersteller. Insbesondere in der Baumaschinenherstellung wird auf ein internationales und lokales Netzwerk von Stahlbaulieferanten zugegriffen. Die Lieferanten in diesem Umfeld sind dezentral und teilweise handwerklich organisiert, da zur Bearbeitung der Aufträge oft keine spezifischen Technologien notwendig sind und sich eigene Produktionsumfänge der Hersteller somit gut für die Fremdvergabe oder die Bearbeitung in der „verlängerten Werkbank“ eignen. Hier fehlt den Herstellern und Lieferanten aufgrund fehlender Systemunterstützung jedoch oft die Transparenz bzgl. der Kapazitäten und der Termineinhaltung. Kleine Lieferanten verfügen oft nicht über die Möglichkeit Ihre Prozesskette mit professionellen ERP-Systemen in dem Umfang zu beherrschen, wie es

der Hersteller in der eigenen Prozesskette praktiziert. Dies kann in einigen Situationen dazu führen, dass dynamische Engpässe<sup>5</sup> bei Lieferanten auftreten, die sich dann direkt auf die Auftragsdurchlaufzeiten auswirken.

In diesem Bereich steckt die Durchsetzung von herstellereigenen Liefer- und Verpackungsvorschriften und ein regelmäßiges Prozessaudit in Analogie zur Automobilindustrie<sup>6</sup> noch in den Kinderschuhen.

Die Leistungsfähigkeit der Hersteller ist in diesem Zusammenhang also nur über die Optimierung der Leistungsfähigkeit des Zuliefernetzwerks zu erreichen. Der Ansatz in der Baumaschinenbranche wird im Projekt BAU-MO 2008 vor allem über eine engere Kopplung an die betrieblichen Planungs- und Steuerungssysteme, eine zeitlich engere Synchronisation von Produktionskapazitäten von Hersteller und Schlüssellieferant und die Stabilisierung kritischen Herstell- und Zulieferprozessen verfolgt.

---

<sup>5</sup> Im Allgemeinen beschreibt ein Engpass eine Situation, in der die Ressourcennachfrage das Angebot übersteigt und die Erfüllung mindestens eines logistischen Ziels behindert. Ein dynamischer Engpass liegt vor, wenn punktuell die Kapazitätsnachfrage das Angebot übersteigt. Vgl. hierzu Wiendahl (2002), S.201 f.

<sup>6</sup> Der Referenzprozess für ein Prozessaudit findet sich in der VDA 6.2 Richtlinie

### 1.3 Abgeleitete Zielsetzung für das Verbundprojekt BAU-MO 2008

Übergeordnetes Ziel des Vorhabens zum Projektbeginn war die Entwicklung und praktische Erprobung von Methoden und Werkzeugen zur Beherrschung der Komplexität von Produkten und Prozessen, um die Durchlaufzeit zu reduzieren.

Hierzu wurden in der Analysephase die Potenziale und Stellhebel zur Verbesserung der Durchlauf- und Lieferzeiten anhand konkreter und realer Kundenaufträge durch das gesamte Netz verfolgt, um bei jedem Konsortialpartner den Optimierungsbeitrag zu ermitteln und die detaillierten Aufgabenstellungen abzuleiten (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Aufgabenstellungen und Herausforderungen im Projekt

Auf Basis der Voruntersuchungen entstanden Zwischenergebnisse in einem realen Kontext, der die praktische Erprobung von entwickelten Methoden und IT-Anwendungen in Form von Demonstratoren ermöglicht.

Das Ergebnis aus dem Projekt BAU-MO 2008 gliedert sich einerseits in das prototypisch umgesetzte IT-Werkzeug zur integrierten Konfiguration von Produkten, Produktionsnetzen und Arbeitsprozessen und ergänzende Hilfsmittel in Form von Fachkonzepten und Softwaretools zur Auslegung und Gestaltung von Produkt, Prozess und Produktionsnetzwerk (siehe Abbildung 6).

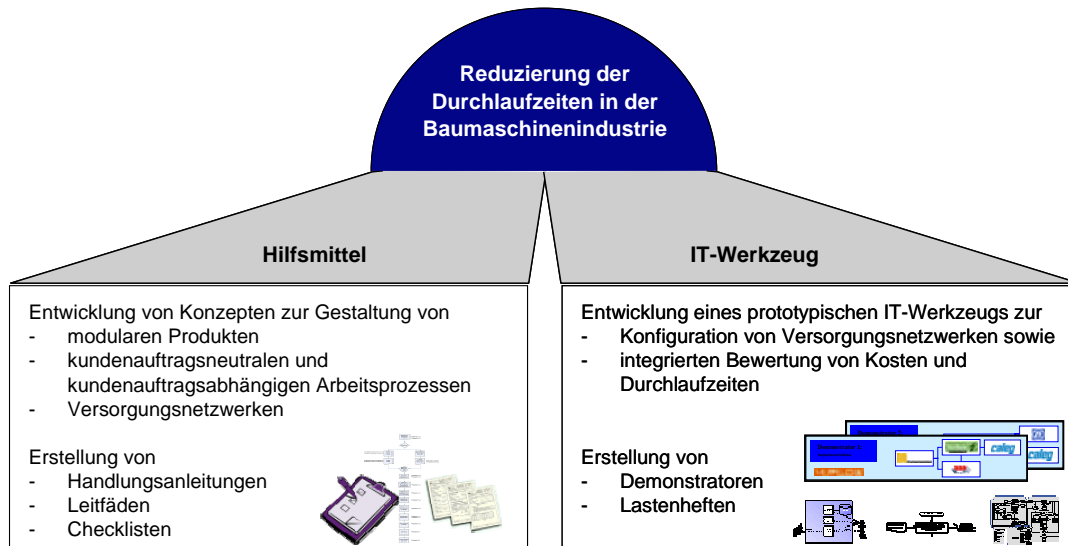


Abbildung 6: Umfang der Projektziele BAU-MO 2008

Gerade die durch kleine und mittelständische Unternehmen geprägte Industrie der mobilen Arbeitsmaschinen wird durch die Entwicklung der Leitfäden und Checklisten in die Lage versetzt, die Chancen der unternehmensübergreifenden Gestaltung und Optimierung von Arbeitsprozessen, Produktstrukturen und Wertschöpfungsketten schneller umzusetzen und die Wettbewerbsfähigkeit der Branche zu steigern.

Im Einzelnen wurden folgende Zielsetzungen im Vorhaben bearbeitet:

- Neugestaltung von Arbeitsprozessen zwischen Vertrieb, Entwicklung, Montageplanung und Fertigung zur Steigerung der marktnahen Präsenz sowie der Reaktionsgeschwindigkeit in der Auftragsbearbeitung vor und innerhalb der Montage
- Entwicklung und Erprobung neuer Konzepte der konstruktiven Variantengestaltung bzw. Modularisierung der Produkte zur Verlagerung der Variantenbildung in die kundennahe Produktionsendstufe
- Entwicklung von Montageprozessen und -technik, welche die Variantenbeherrschung in der Produktion sicherstellt und Änderungen (konstruktive Verbesserungen, Neuentwicklungen, Prozessinnovationen oder Marktveränderungen) schnell adaptieren kann
- Entwicklung neuer Konzepte für Beschaffung und Logistik für die Bildung von Systempartnerschaften zum Zweck einer arbeitsteiligen Montage in Netzwerken, die eine bessere Ressourcennutzung insbesondere bei Produktionsschwankungen infolge turbulenter Auftragseingänge erlaubt.












## 1.4 Projektkonsortium

Zu den Konsortialpartnern zählten zwei Hersteller der Baumaschinenindustrie mit völlig verschiedener Charakteristik: Die *Putzmeister Concrete Pumps GmbH* mit einem hohen Anteil an Anpasskonstruktionen in Verbindung mit Standardbaugruppen und die *Liebherr-Mischtechnik GmbH* im Segment Fahrmischer mit einem hohen Serienanteil.

Die Lieferverflechtungen zwischen den fünf Zulieferern und den Herstellern sind variantenbedingt häufig zeit- und kostenkritisch. Das Industriekonsortium wird durch ein Beratungs- und Softwarehaus ergänzt, das leistungsfähige IT-Werkzeuge zur Verfügung stellt und weiterentwickelt, die Planung und Betrieb von Produktionsnetzen unterstützen.

Die Forschungspartner runden das Konsortium ab: Die Expertise hinsichtlich Produktsystematik vertrat das *PTW der TU Darmstadt (Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen)*, das Know-how für die Bereiche Produktionssystematik, Produktionsnetze sowie Logistik und Simulation bringt das *IPA (Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart)* ein. Die betriebswirtschaftlichen Inhalte hinsichtlich der Bewertung vertritt das *IPRI (International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH)*.

		Unternehmen bzw. Insitut			Firmensitz	Tätigkeitsfeld	Anzahl der Mitarbeiter	Umsatz Mio €
Maschinenhersteller (OEM)	1		PUM	Putzmeister AG (Putzmeister-Gruppe)	K Aichtal	Autobeton- und Fahrmischerpumpen	1.148	271,0
	2		LMT	Liebherr-Mischtechnik GmbH (Liebherr-Gruppe)	K Bad Schussenried	Fahrmischer	560	112,0
Zulieferer	3		ZFP	ZF Passau GmbH	K Passau	Getriebe und Achsen für Land- und Baumaschinen	6.650	1.300,0
	4		CIT	Claas Industrietechnik GmbH (Claas-Gruppe)	K Paderborn	Antriebstechnik und Hydraulik	650	120,0
	5		IES	Industrie - Elektronik Ströbele GmbH	Nürtingen	Steuerungstechnik, Schaltschrankbau	33	4,1
	6		CAL	Caleg Schrank- und Gehäusebau GmbH	Calau	Blechverarbeitung	160	16,0
	7		4FL	4flow AG	Berlin	Integrierte Software zur Planung von Logistiknetzwerken	40	3,5
Institute	8		IPA	Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung IPA	Stuttgart	Produktionstechnik, Unternehmenslogistik	200	31,0
	9		PTW	Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW	Darmstadt	Produktionstechnik, Produktentwicklung	35	-
	8		IPRI	International Performance Research Institute gemeinnützige GmbH IPRI	Stuttgart	Prozesskostenrechnung, Unternehmensnetzwerke	8	-

OEM = Original Equipment Manufacturer

K = Konzerngesellschaft

Abbildung 7: Mitglieder des Forschungskonsortium BAU-MO 2008

## 1.5 Das Referenzprodukt (PUMI®) und der Referenzprozess für die Auftragsbearbeitung

Im Vorfeld der Projektbearbeitung wurde untersucht und festgelegt, welches Produkt und welcher Auftragsabwicklungsprozess als Repräsentant für mobile Baumaschinen verwendet wird.

Im Forschungsprojekt BAU-MO 2008 wurde vom Konsortialführer, der *Putzmeister Concrete Pumps GmbH* in Aichtal, die Fahrmischerbetonpumpe „PUMI“ ausgewählt, um als Demonstrator für die Forschungsanwendungen zu dienen.

Gründe hierfür liegen vor allem darin, dass die Fahrmischerbetonpumpe aus einer Vielzahl kundenspezifischer Komponenten besteht, die in großen Teilen aus einem mehrstufigen Versorgungsnetzwerk bezogen werden. Der PUMI ist somit der Repräsentant für die Anwendungen der Demonstratoren und der entwickelten Gestaltungssystematiken.

Die Fahrmischerbetonpumpe PUMI ist eine Kombination zweier Baumaschinen: Zum einen enthält sie die typischen Funktionen einer Autobetonpumpe und zum anderen die eines Fahrmischers (siehe Abbildung 8).

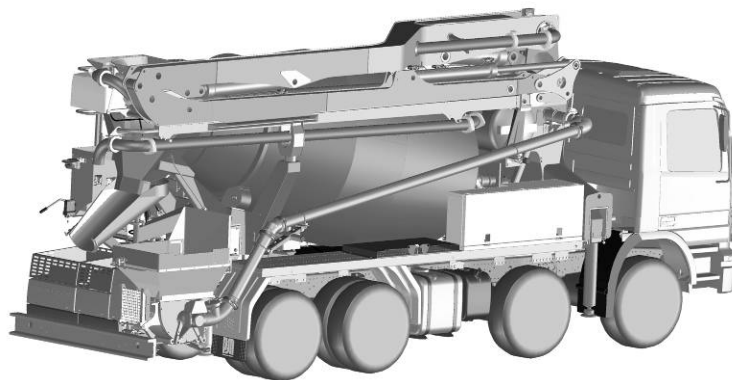


Abbildung 8: PUMI der Firma Putzmeister Concrete Pumps GmbH

Die PUMI® transportiert und mischt den Beton wie ein herkömmlicher Fahrmischer, auf der Baustelle pumpt und verteilt sie das Material wie eine Autobetonpumpe. Der Beton wird von der Mischtrummel in den Trichter der Pumpe gefördert, die diesen dann über den Verteilermasten an den gewünschten Ort pumpt.

Fahrmischerbetonpumpen zeichnen sich durch ihre hohe Flexibilität aus und eignen sich besonders für Anwendungen, bei denen eine begrenzte Menge Beton benötigt wird (z.B. Bodenplatte einer Garage). Dabei gibt es verschiedene Varianten:

Die Hauptmerkmale sind die Reichweite des Verteilmastes, die Förderleistung der Betonpumpe und das Fassungsvermögen der Mischtrommel. Zusätzlich ermöglichen eine Vielzahl weiterer Merkmale das Produkt den kundenspezifischen Anforderungen anzupassen (z.B. Chassistyp, Lackierung, Sonderausstattungen).

Die Fahrmischerbetonpumpe wird zentral von der *Putzmeister Concrete Pumps GmbH* am Standort Aichtal geplant und produziert. Dabei werden Baugruppen der Verbundpartner und anderer *Putzmeister*-Werke benötigt. Abbildung 9 zeigt schematisch die wichtigsten Komponenten und Beitrag der beteiligten Konsortialpartner im Projekt BAU-MO 2008 für eine Fahrmischerbetonpumpe:

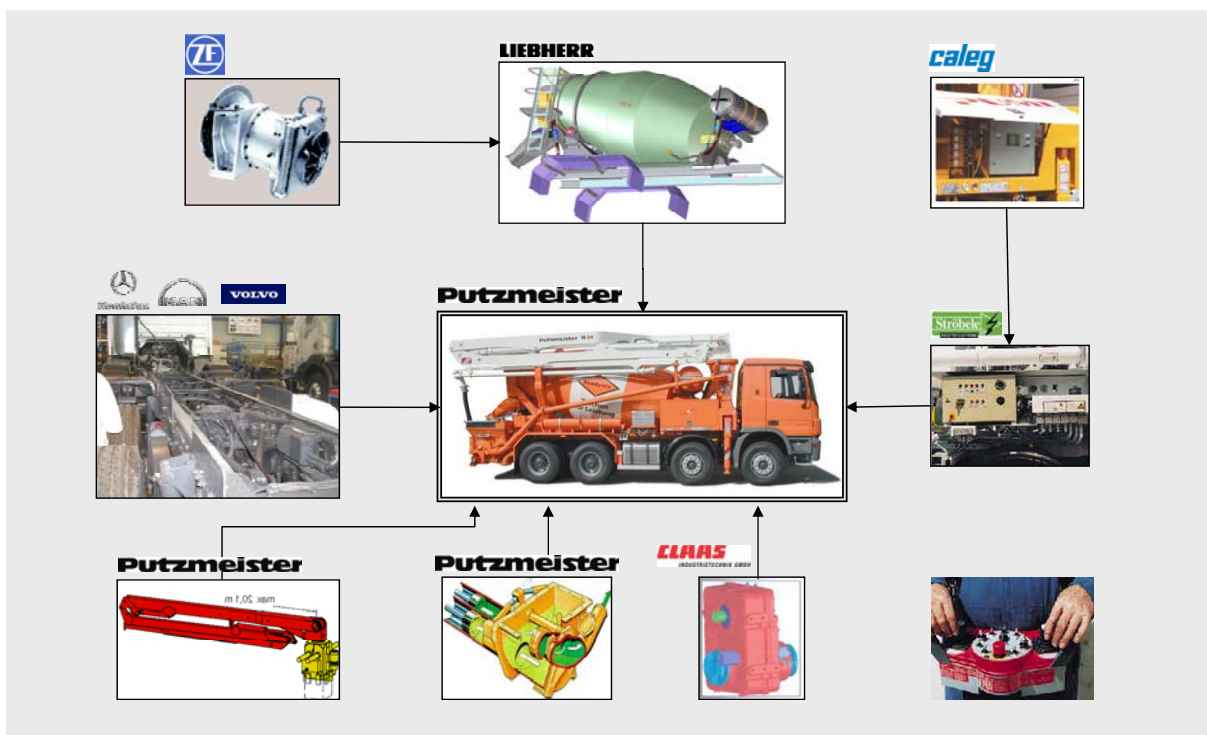


Abbildung 9: Zentrale Komponenten einer Fahrmischerbetonpumpe

Das Mischergetriebe wird bei *ZF* Passau auftragsspezifisch produziert und bei der Firma *Liebherr*, Bad Schussenried an die Mischtrommel angebaut. Im *Putzmeister*-werk Althengstett wird der Maschinenrahmen (Bock) mit dem Verteilmast (Armpaket) aus Gründau und der vormontierten Mischtrommel zusammengefügt.

Im Stammwerk Aichtal der *Putzmeister* Gruppe werden zeitgleich die Kernpumpe gefertigt und das Chassis vorbereitet (Hydraulikpumpe) und im Anschluss mit der Baugruppe aus Althengstett „verheiratet“. Danach erfolgen Fertigmontage, Funktionstest und die Lackierung.

## 2 Identifizierte Potenziale und Handlungsfelder im Projekt

Aufgrund der Aufgabenkomplexität wurden in einer ersten Projektphase die Ursachen für das bestehende hohe Durchlaufzeitniveau und Einflussgrößen für durchlauf- und lieferzeitrelevante Störungen ermittelt und Potenziale zur Aufwandsreduzierung und Kostensenkung qualitativ analysiert. Die Betrachtungsbreite umfasste dabei alle avisierten Dimensionen der Produkt- und Prozessgestaltung und des Zuliefereretzwerks. Diese integrierte Betrachtung half zu ermitteln, welche Prozesse durch zu entwickelnde Hilfsmittel und Werkzeuge unterstützt bzw. verbessert werden sollten.

Die Analyse zeigte, dass eine Hauptursache für das bestehende Durchlaufzeitniveau in der Fehlteilensituation begründet ist (siehe Abbildung 10).

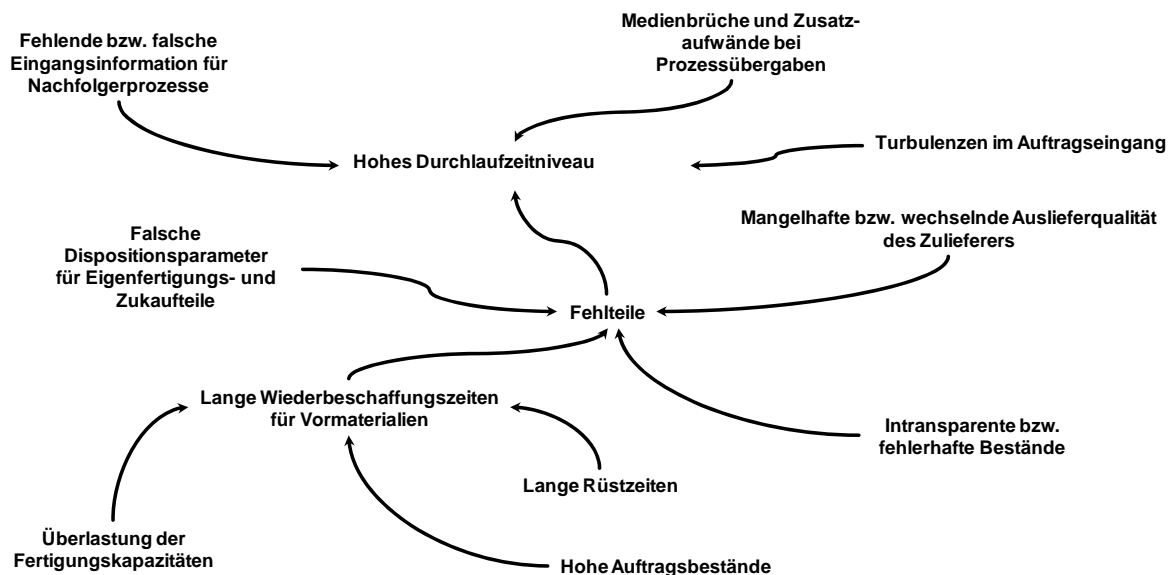


Abbildung 10: Identifizierte Hauptursachen für lange Durchlaufzeiten<sup>7</sup>

Fehlteile stören den Ablauf, indem sie den Fortschritt des Auftragsabwicklungsprozesses und der Produktion verzögern. Bis zum Eingang des fehlenden Teils und der Wiedereinschleusung des Auftrags bleibt der Kundenauftrag liegen. In der Montage bedeutet dies, dass eine kontinuierliche unterbrechungsfreie Bearbeitung behindert wird und der Auftrag so nicht effizient bearbeitet werden kann.

<sup>7</sup> Quelle: Prozessanalyse bei den Herstellerfirmen im Konsortium

Als Treiber für lange Durchlaufzeiten wurde darüber hinaus die hohe Komplexität des Auftrags, ungenaue Spezifikationen und eine fehlende Flexibilität des Versorgungsnetzwerks identifiziert.

Ein weiterer Grund für lange Durchlaufzeiten sind Schleifen und Störungen in der Auftragsabwicklung infolge fehlender bzw. falscher Eingangsinformationen aus Vorprozessen. Dies resultiert vor allem aus fehlenden Prozessschnittstellen und einer fehlenden Gesamtbetrachtung der Prozesskette aus Auftragsicht.<sup>8</sup>

Die bestehende Auftragsabwicklung ist durch Medienbrüche<sup>9</sup> insbesondere bei der Bearbeitung des Auftrags vor Fertigung und Montage gekennzeichnet. Um den Medienbruch im operativen Betrieb zu überwinden sind die Beteiligten gezwungen einerseits die Eingangsinformation in andere betriebliche Systeme aufwendig manuell zu konvertieren oder den Prozess durch Rücksprache und separate Dokumentation abzusichern. Dies sorgt vor allem dafür, dass ein Großteil der lieferzeitwirksamen Durchlaufzeiten auf Prozesse in den indirekten Bereichen entfallen. Deshalb sind die informationstechnischen Übergänge ein Schwerpunkt für Optimierungsmaßnahmen (siehe Kapitel 3.2).

Die beiden Zielsetzungen Durchlaufzeitenreduzierung und Kostensenkungen wurden im Projekt BAU-MO 2008 am höchsten priorisiert. Die in der Querschnittsanalyse ermittelten Potenziale hinsichtlich Kosten, Durchlaufzeit und Qualität zeigen, dass die Mehrzahl der identifizierten Kostenpotenziale durchlaufzeitrelevant sind (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12).

---

<sup>8</sup> Viele Prozessschritte in der Auftragsabwicklung sind aufgrund der Funktionsorientierung in der Aufbauorganisation isoliert von einander gestaltet und optimiert worden.

<sup>9</sup> Bei einem Geschäftsprozess werden Daten bzw. Informationen ausgetauscht. Diese sind an ein bestimmtes Medium gebunden. Meist werden die Medien Sprache, Papierformulare und EDV benutzt. Jeder Übergang von einem Medium in das andere ist ein Medienbruch. Medienbrüche verursachen Kosten, häufig in Form von Bearbeitungsaufwand. Ein Informationsbruch entsteht, wenn beim Übergang eines Vorganges von einem Akteur zum anderen (z.B. an einer Schnittstelle) nicht alle notwendigen Informationen mit übergeben („vergessen“) werden.

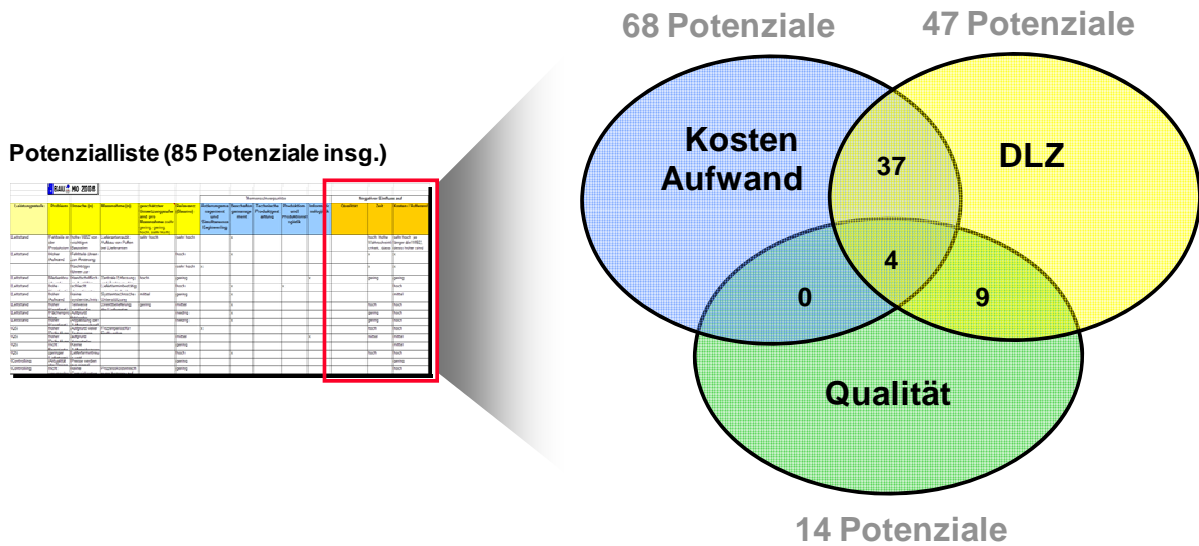


Abbildung 11: Zuordnung von Potenzialen zur Wirkungsrichtung  
 [Quelle: Potenzialstudie bei den Herstellerfirmen]

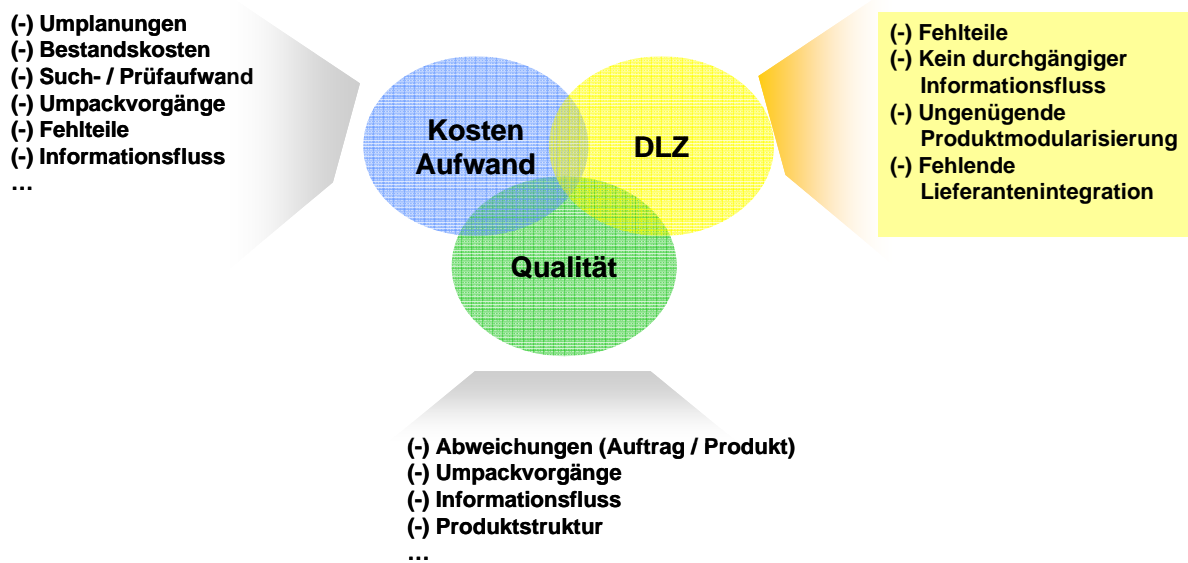


Abbildung 12: Stellhebel für die Optimierung in der Baumaschinenproduktion  
 [Quelle: Potenzialstudie bei den Herstellerfirmen]

Im Rahmen der Ist-Analyse der Auftragsabwicklungsprozesse bei den Herstellern wurden die identifizierten Optimierungspotenziale in zu priorisierende Themengebiete zusammengefasst (siehe Abbildung 13).

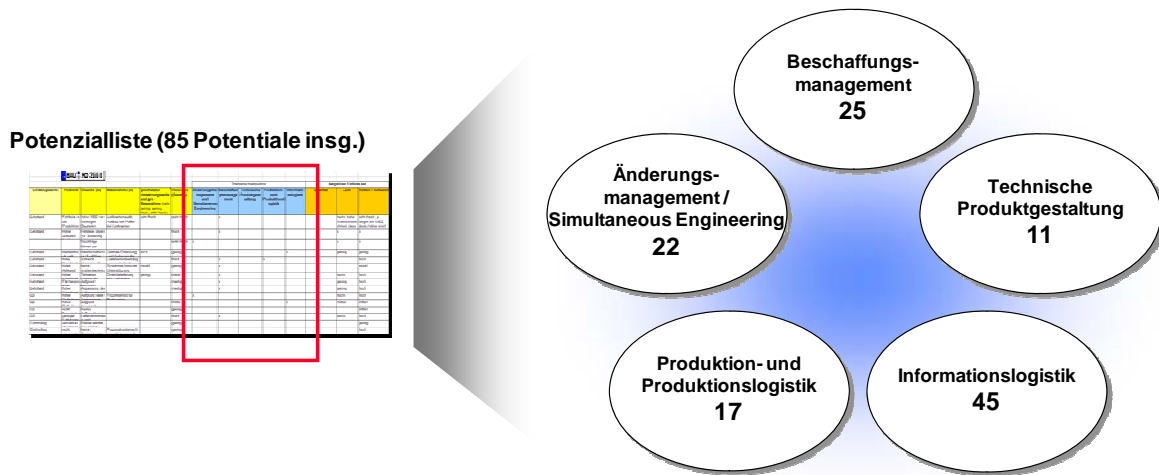


Abbildung 13: Zuordnung von Potenzialen zu Themengebieten  
 [Quelle: Potenzialstudie bei den Herstellerfirmen]

Die Analyse zeigte, dass ein Großteil der identifizierten Handlungsfelder dem Oberthema Informationslogistik<sup>10</sup> zuzuordnen ist. Dies unterstreicht die Bedeutung der datentechnischen Kopplung und Durchgängigkeit über die Prozesskette im Vorfeld der Montage, um die Auftragsbearbeitung zu optimieren.

Jeweils ein rundes Drittel der identifizierten Potenziale entfallen auf die Themenfelder Beschaffungsmanagement und Produktionslogistik. Dies signalisiert die Bedeutung der zwischenbetrieblichen Logistik und des Supply Chain Management in der Branche vor dem Hintergrund geplanter Durchlaufzeitverkürzungen.

Ein weiteres wichtiges Thema im Projekt BAU-MO 2008 ist das Änderungsmanagement. Das Änderungsmanagement befasst sich mit Art, Umfang und Zeitpunkt von Vertriebsänderungen (in Form von Nachträgen im Kundenauftrag) oder technischen Änderungen (in Form von Konstruktionsänderungen) und deren Einbindung in den Auftragsabwicklungsprozess.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass Maßnahmen zur Optimierung der Durchlaufzeiten oft in einem direkten Zusammenhang mit Produktivitätserhöhung stehen. Darüber hinaus sind im Rahmen von BAU-MO 2008 die informationstechnische Kopplung der Geschäftsprozesse und angepasste Prozesse im Management von Änderungen als Potenzialfeld identifiziert worden.

<sup>10</sup> Informationslogistik bezeichnet die Bereitstellung von Informationen.

## 2.1 Konstruktive Produktgestaltung



Abbildung 14: Herausforderungen für die konstruktive Produktgestaltung

Wie im vorangegangenen Abschnitt bereits erläutert wurde, sind Fehlteile eine der häufigsten Ursachen für längere Durchlaufzeiten in der Baumaschinenindustrie. Neben Ursachen, die durch Defizite in der Steuerung von Lieferanten oder Vorfertigungsprozessen verursacht werden, hat die Gestaltung des Produkts ebenfalls maßgeblichen Einfluss auf die Durchlaufzeit eines Auftrags.

Die Produkte der Baumaschinenindustrie sind in den meisten Fällen auf kundenspezifische Bedürfnisse zugeschnitten und erfordern dementsprechend auch zusätzliche Anpassungen in der Konstruktion. Da aber das Design für derartige Anpassungskonstruktionen oftmals nicht ausgelegt ist, müssen auch nicht direkt mit den vom Kunden geforderten Änderungen verbundene Bauteile überarbeitet werden, um die Gesamtfunktion des Produkts sicherzustellen. Da dieser Zusatzaufwand vorab meist nicht bekannt ist, erschwert dies die Planung solcher Aufträge, was zu erheblichen Verzögerungen im Ablauf führt. Da die Änderungen der Konstruktion in der Produktion, im Einkauf und beim Lieferanten oftmals ebenfalls zu Zusatzaufwand führen, entstehen so in der Folge weitere Verzögerungen, die so zu einer erheblichen Durchlaufzeitverlängerung führen.

Darüber hinaus wächst durch das stetige Generieren von neuen, kundenspezifischen Varianten die Anzahl der zu verwaltenden Teilenummern und vor allem auch Prozessvarianten in der Entwicklung, dem Einkauf und der Produktion immer weiter an. Die neue Erstellung von bereits in Teilen vorhandenen Varianten in der Konstruktion, der enorme Aufwand zur Auswahl und stetigen Bewertung der Lieferanten und die



Fehleranfälligkeit in der Produktion, verursacht durch die hohe Anzahl der zu beherrschenden Produktvarianten, bewirkt über die Zeit weitere Verzögerungen bei der Abarbeitung eines Auftrags.

Um aus diesem „Teufelskreis“ auszubrechen sind auf Modulen oder Baukasten basierende Produktstrukturen notwendig, die bereits bei der Entwicklung Raum für zukünftige Wünsche der Kunden lassen. Sie entlasten zum einen die technischen Prozesse durch eine deutliche Reduzierung der Varianten und unterstützen zum anderen die Optimierung der Auftragsabwicklung im Netzwerk insgesamt. Da die Anzahl an Varianten dann deutlich geringer ausfällt, sind auch die möglichen Netzwerkvarianten, die bei der Planung berücksichtigt werden müssen, deutlich geringer.

Neben der Verbesserung der Produktstruktur bieten aber auch Ansätze auf Bauteilebene Potentiale für eine Reduzierung der Durchlaufzeit. Da die Variantenvielfalt in der Produktion zu einer Vielzahl verwendeter Technologien führt, sind die Möglichkeiten einer fertigungs- bzw. prozessorientierten Produktoptimierung aus Kapazitätsgründen begrenzt. Da aber durch verbesserte Produktstrukturen auch die Anzahl benötigter Technologien sinkt, bestehen hier ebenfalls Potentiale zur Optimierung einzelner Komponenten. Hierbei können neben klassischen Ansätzen der fertigungs- und montagegerechten Gestaltung insbesondere die Anforderungen der Baumaschinenindustrie hinsichtlich Handling und Flexibilität einfließen und so eine Durchlaufzeitreduzierung unterstützen.

## 2.2 Prozessgestaltung in der Auftragsabwicklung

Die Durchlaufzeit eines Auftrages wird sehr stark von den auftragspezifischen Aktivitäten der indirekten Bereiche beeinflusst. Nahezu Gleichbehandlung der Auftragspositionen unabhängig von dem Standardisierungsgrad der Komponenten führt zu langen Durchlaufzeiten und zum Verzug bei der Erstellung der Fertigungs- sowie Beschaffungsaufträge. Dadurch entstehen Fehlteile, die nur durch Sondermaßnahmen in der Planung und Beschaffung behoben werden können. Reichen diese Maßnahme nicht aus um die Materialien rechtzeitig bereitzustellen, muss mit der Verschiebung des Liefertermins gerechnet werden. Je schneller die Auftragspositionen in indirekten Bereichen abgearbeitet werden, desto mehr Zeit steht zur Verfügung um Vorprodukte der Auftragspositionen und somit die Auftragspositionen selbst termingerecht bereitzustellen.

Die Auftragspositionen müssen nur die Prozesse durchlaufen, die erforderlich sind um die Anforderungen des Kunden zu genügen. Wird eine Auftragsposition mit hohem Standardisierungsgrad bearbeitet, sollte der Aufwand und die Durchlaufzeit in indirekten Bereichen auf nahezu „0“ reduziert werden. Gelingt diese spezifische Bearbeitung der Auftragspositionen können wertvolle Zeiten für die nachfolgende Prozesse wie Beschaffung, Fertigung und Montage gewonnen werden.

Weitere Handlungsfelder in der Auftragsabwicklung stellen die eingesetzten Systeme sowie die Aktualität und die Konsistenz der Daten dar. Abweichungen zwischen dem Systembestand und tatsächlichem Bestand, falsche oder unvollständige Dispositionsparameter sowie Gleichbetrachtung der Ersatzteilbedarfe und Serienbedarfe sind einige der Ursachen, die Fehlteile und somit die hohe Kosten und lange Durchlaufzeiten verursachen. Durch die durchgängige Nutzung der Auftragsdaten und die Aktualität der Stamm- und Bewegungsdaten der eingesetzten Systeme lassen sich Fehler in der Auftragsabwicklung und Disposition vermeiden und die Durchlaufzeiten sowie der Bearbeitungsaufwand können gesenkt werden.

## 2.3 Prozessgestaltung in der Montage

Gestaltung und Optimierung von Montageprozessen in der Baumaschinenindustrie sind im Vergleich zur Serienproduktion wesentlich komplexer.

Gründe hierfür sind vor allem:

### 1) Komplexe Arbeitsabläufe mit relativ niedrigem Wiederholcharakter

Komplexe Arbeitsabläufe sind gekennzeichnet durch einen stark verzweigten Vorranggraphen und eine Vielzahl an parallelen und sequenziellen Montagevorgängen. Dies führt im Betrieb zu Intransparenz, erhöht den Steuerungsaufwand und erschwert im Umplanungsfall die Schaffung einer verlässlichen Planungsgrundlage. Hierzu sind Werkzeuge und Methoden zu generieren, die einen bestehenden Montageprozess im Sinne einer Potenzialanalyse schnell „sezieren“ können und die Planung von neuen Montagekonzepten optimal unterstützen.

### 2) Notwendigkeit zur Abbildung hoher Variantenvielfalt in der Montage

Varianten und Optionen bedeuten unterschiedliche Ausrüstungszustände, welche teilweise stark unterschiedliche Montagezeiten haben. Eine gleichmäßige Auslastung und Einplanung von Aufträgen in die Montage wird dadurch erschwert. Variantenbeherrschung in der Montage ist daher eine zentrale Forderung. Dies bedeutet jedoch, dass neue Varianten schnell bewertet und in ein bestehendes Montagekonzept schnell integriert werden müssen.

### 3) Hoher Umfang von Arbeitsinhalten pro Mitarbeiter in der Montage und geringer Grad an vertikaler Arbeitsteilung

Die Montage in der Baumaschinenindustrie gleicht heutzutage häufig Manufakturen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass in der Montage oft eine horizontale Arbeitsteilung (Mengenteilung) vorliegt.

Dies impliziert, dass über eine relativ lange Verweildauer in der Montage hohe Arbeitsinhalte auf wenige Mitarbeiter entfallen. Eine Standardisierung und Abtaktung von Prozessinhalten in den bestehenden Strukturen und Montagesystemen ist deshalb zunächst nicht möglich. Zukunftsfähige Montagesysteme für Baumaschinen zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass sie einen arbeitsteiligen Prozess abarbeiten und sich so für alternative Montagegrundkonzepte (Fließ-, und Reihenmontagen) eignen.

Dies ist eine Grundvoraussetzung zur Reduzierung von ablaufbedingten Nebenzeiten in der Montage und damit zur Erschließung von Durchlaufzeit und Effizienzreserven.

#### 4) Hoher Anteil an Justage- und Handlingprozessen in der Montage

Ablaufbedingte Nebenzeiten und Zeiten für die Positionierung von Bauteilen am Arbeitsplatz bremsen jeden Montageprozess und tragen nicht zur Wertschöpfung bei. Bauteil- und gewichtsbedingt sind viele Montageteile und Baugruppen in der Baumaschinenmontage manuell nicht zu bewegen und positionsgenau in die Montagelage zu führen. Daraus resultiert ein hoher Aufwand für das Anfahren von Kränen und Handhabungshilfen, das Sichern des Bauteils gegen Herunterfallen oder Kollisionen. Bestehende technische Lösungen<sup>11</sup> können die Baumaschinenbranche nur bedingt unterstützen, da die Anforderungen an die Lastaufnahmemittel, die zu handhabenden Gewichte und Verfahwege in vielen Anwendungsfällen die Einsatzmöglichkeiten übersteigen. In vielen Fällen zeigen sich speziell angepasste Transport- und Handling-Lösungen als zu unflexibel, um den gesamten Montageprozess unterstützen zu können.

#### 5) Einsatz von zahlreichen Werkzeugen pro Montagevorgang

Innerhalb einer Montageprozesskette wird in der Baumaschinenmontage eine Vielzahl manueller Werkzeuge und Hilfsmittel eingesetzt. Der Zugriff auf die Werkzeuge ist in den Prozessdokumentationen der Arbeitsvorbereitungen oft nicht ausreichend dokumentiert oder wurde nicht mit dem notwendigen Detaillierungsgrad analysiert, so dass eine Optimierung nicht erfolgen kann.

Für die Montageprozessplanung sind geeignete Methoden zu entwickeln, die den genannten Anforderungen aus der Branche am besten Rechnung tragen, die sich für die schnelle Entwicklung neuer Lösungen eignen und durch die erarbeitete Planungsdaten durchgängig verwendet werden können. Im Projekt BAU-MO 2008 wurden hierzu angepasste Methoden und Werkzeuge entwickelt, in praktischen Anwendungsfällen erprobt und validiert (siehe Kap. 3.2.1.4)

---

<sup>11</sup> Bspw. Montagebalancer oder Hubachsen.

## 2.4 Gestaltung des Produktions- und Logistiknetzwerks

Die termingerechte Versorgung mit Zulieferteilen ist in der Baumaschinenindustrie elementar für wirtschaftliche und kurze Durchlaufzeiten des Gesamtauftrags. Im Vergleich zur Automobilindustrie sind die Beschaffungsstrukturen und Versorgungsprozesse in der Baumaschinenfertigung jedoch nicht ausreichend entwickelt und etabliert. In Zeiten knapper eigener Fertigungskapazitäten werden Teile mit einfacheren Geometrien vermehrt von externen Lieferanten bezogen. Oft sind die Standorte dieser Lieferanten in China, Ost-Europa und anderen Niedriglohnländern.

Der Trend zur externen Auftragsvergabe anstelle der Bearbeitung in eigener Wertschöpfung hat jedoch in Bezug auf Produktivität und Produktqualität der Hersteller oft negative Folgen. Folgende Ursachen wurden dabei identifiziert:

### 1) Inkonsistente und medienbruchbehaftete Auftragsabwicklung im Netzwerk

Die Lieferanten sind in den seltensten Fällen an die betrieblichen ERP-Systeme der Hersteller angebunden. Der Zeitraum zwischen Bedarfstermin aus einem konkreten Produktionsauftrag und dem Beginn der Produktion beim Lieferanten wird dadurch verlängert. Nach Auftragsannahme wird die Bestellung beim Lieferanten wieder neu bearbeitet und in anderen IT-Systemen weiterverarbeitet. Es entstehen Liege- und Wartezeiten in der Auftragsbearbeitung, welche direkt durchlaufzeitrelevant sind und sich in den erreichten Lieferzeiten des gesamten Auftrags widerspiegeln.

Die Auftragsabwicklung im Liefernetz muss durchgängiger gestaltet werden und Lieferanten deutlich höher in die betrieblichen Prozesse der Hersteller integriert werden. Dies umfasst nicht nur den operativen Bestellprozess im Einkauf, sondern auch die Anbindung an Prognosen und das Produktionsprogramm des Herstellers.

### 2) Nicht ausreichend abgestimmte Fertigungs- und Montagekapazitäten

Ein Hauptgrund von Engpässen und Überkapazitäten sind nicht abgestimmte Fertigungs- und Montagekapazitäten zwischen den Herstellern und den Lieferanten von Schlüsselteilen. Da sich betriebsmittelbedingt insbesondere Fertigungskapazitäten nicht beliebig flexibilisieren oder erweitern lassen, sind die Reaktionszeiten des Lieferanten auf mittelfristige Stückzahlveränderungen bei seinen Kunden relativ lang. In der Reaktionszeit wird das Zulieferteil zum Durchlaufzeittreiber, da der Hersteller im Extremfall auf den Wareneingang des Engpassteils warten muss. Werden Prognosen aufgrund schwacher Nachfrage nicht erfüllt, dann sind beim Lieferanten Ferti-

gungsressourcen nur unzureichend ausgelastet, ohne dass der Lieferant rechtzeitig über den veränderten Kapazitätsbedarf Kenntnis erhält. Das Zuliefernetzwerk ist in Zukunft darauf auszurichten, dass Fertigungskapazitäten im Vorfeld auf Basis von Produktionsszenarien synchronisiert werden können. So können drohende Engpass-situationen oder Leerkapazitäten vermieden werden.

### 3) Schwankende Prozess- und Auslieferqualität

Aufgrund sinkender Fertigungstiefe liegt die Produktverantwortung stärker beim Lieferanten. Die Betriebsmittelvorschriften des Herstellers, die Qualitätssicherungs-Prozesse bei Eigenfertigung und die Verpackungsvorschriften sind bei externer Auftragsvergabe schwer gegenüber Lieferanten durchzusetzen. Hinzu kommen u.U. Transportschäden, insbesondere Schäden an der Lackierung oder Grundierung und sonstige Fehlerquellen, die beim Hersteller aufwendig nachgearbeitet werden müssen, bevor die Zulieferteile in der Baumaschine verbaut werden können. Die Vorteile der externen Vergabe, wie Lohn- und Stückkostenkostenvorteile, interne Kapazitäts-schonung und Konzentration auf Kernkompetenzen, werden derzeit von den Herstellern teuer mit verlängerten Lieferzeiten, ungeplanter Nacharbeiten und erhöhtem Aufwand zur Stabilisierung der Lieferprozesse bezahlt. Das Lieferantennetz der Zukunft zeichnet sich durch stabile Prozesse aus, in welchen der Hersteller für Aufbau, Pflege und Stabilisierung der Prozesse bei Störungen verantwortlich ist. Hierzu sind insbesondere bei den Herstellern zunächst die organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen.

### 4) Schwankende Lieferzuverlässigkeit

Der kommunizierte Liefertermin zum Endkunden ist ein starkes Verkaufsmerkmal und im Wettbewerb mit anderen Herstellern ein entscheidendes Kriterium. Die internen Auftragsabwicklungsroutinen und die betrieblichen ERP-Systeme sind darauf ausgerichtet termingerecht zu liefern und im Störfall schnell entgegenzusteuern. Diese „Innensicht“ fehlt bei der externen Auftragsvergabe. Der Hersteller ist somit voll darauf angewiesen, dass der Lieferant in jedem Fall die vereinbarten Lieferbedingungen (bspw. Wiederbeschaffungszeiten) erfüllt. In der betrieblichen Praxis ist der Hersteller im Falle von Störungen direkt betroffen und kann das Problem kurzfristig nicht zu seinen Gunsten lösen. Im Liefernetz der Zukunft sind Handlungsroutinen zwischen Lieferant und Kunde genauer definiert. Hierzu gehört, dass die Zulieferprozesse regelmäßig bewertet und auf Optimierungsmöglichkeiten überprüft werden.

Die Versorgungsprozesse sind in der Baumaschinenherstellung weiterzuentwickeln, um kürzere Durchlaufzeiten realisieren zu können. Dies umfasst einerseits Managementprozesse, die im Störfall durch Fehlerbeseitigungsroutinen Materialabrisse verhindern, andererseits Auftragsabwicklungsprozesse, die stärker an die betrieblichen IT-Systeme des Kunden gekoppelt werden müssen (EDI, WebEDI, myopen-Factory, etc.). Die Lieferantenkapazität zwischen OEM und Lieferant ist für Schlüsselteile im Vorfeld zu synchronisieren, so dass Engpässe oder Überkapazitäten reduziert werden können. Darüber hinaus sind Standards für Versorgungsprozesse zu definieren, die bei Bedarf und Eignung eines Bauteils schnell etabliert werden können. Im Projekt BAU-MO 2008 wurden hierzu angepasste Methoden und Werkzeuge entwickelt, in praktischen Anwendungsfällen zwischen Lieferanten und OEM erprobt und validiert sowie ausgewählte Bausteine etabliert (siehe Kap. 3.1.2.6).

### 3 Entwickelte Lösungen für die deutsche Baumaschinenbranche

Im Rahmen von BAU-MO 2008 wurden von den Forschungs- und Industriepartnern gemeinsam Lösungen entwickelt und anhand konkreter Aufgabenstellungen in der Praxis getestet. Die Lösungen beinhalten Regelwerke und Handlungsleitfäden für die Bereiche Produktgestaltung, Prozessgestaltung und die Netzwerkgestaltung. Gemeinsames Fundament der BAU-MO 2008-Lösungen bildet der Software-Prototyp der 4flow AG, welcher die verschiedenen Anforderungen aus Produkt- und Prozesssicht der Baumaschinenherstellung in einem Softwarewerkzeug für die Planung und Bewertung abbildet (siehe Abbildung 15).

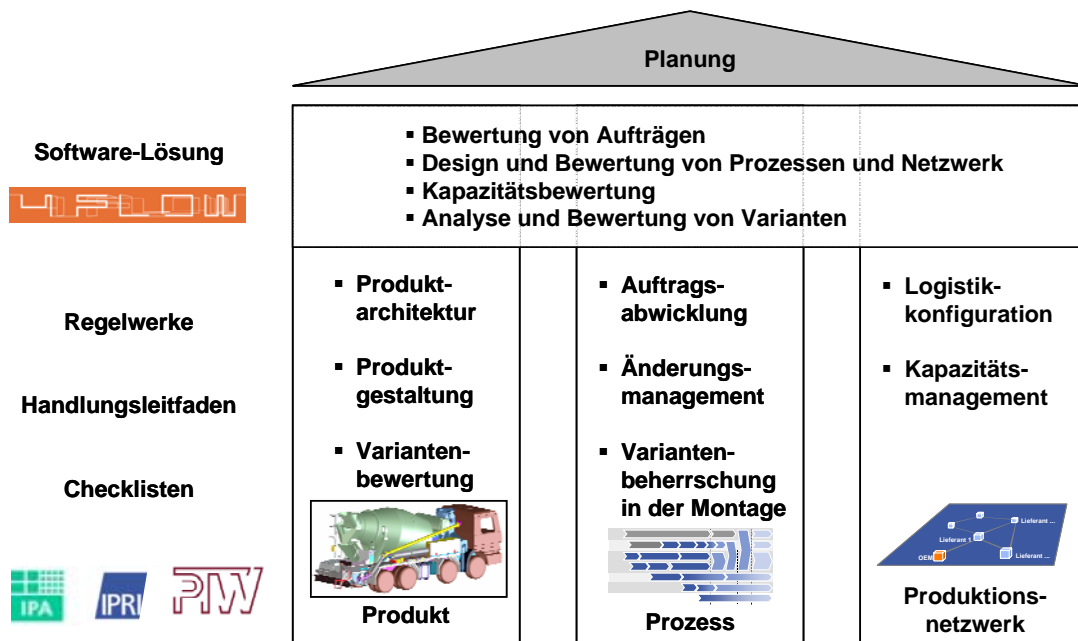


Abbildung 15: Übersicht entwickelter Lösungen im Projekt BAU-MO 2008



### 3.1 Optimierung der Produktgestaltung

Die Produktgestaltung ist folglich darin zu unterstützen, eine kostengünstige Herstellung der Produkte mit der vom Kunden geforderten Variantenvielfalt zu ermöglichen. Hier können drei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden:

- Durch die Vermeidung von Varianten im Rahmen der Produktgestaltung z.B. durch die Modularisierung sowie die Verwendung von Baukästen etc.<sup>12</sup> kann die Produktvielfalt eingeschränkt und damit sowohl die Auftragsabwicklungs- als auch die Produktionsprozesse (Teilefertigung und Montage) vereinfacht und entlastet werden.
- Da sich die Variantenvielfalt jedoch nicht beliebig reduzieren lässt, sind alle Produkte, d.h. Standardprodukte und Produktvarianten, so zu gestalten, dass sie möglichst geringe Kosten und Zeiten in den Prozessen nach sich ziehen. Bestehende methodische Ansätze werden unter dem Schlagwort Design to X (DtX) oder Design for X (DfX) zusammengefasst. Hier lassen sich wiederum unterschiedliche Schwerpunkte unterscheiden. Im Rahmen dieser Untersuchung stehen die Methoden Design to Assembly, Design to Manufacturing und Design to Logistics im Vordergrund.<sup>13</sup>
- Des Weiteren darf der Auftragsabwicklungsprozess durch die verbleibenden Varianten nicht erschwert werden. Daher müssen eingehende Kundenaufträge zum einen bestimmten Auftragsklassen zugeordnet werden, um ihren Aufwand abschätzen und entsprechend planen zu können, zum anderen müssen bereits im Rahmen der Konfiguration der Aufträge die Restriktionen der Prozesse berücksichtigt werden, um Turbulenzen weitgehend zu vermeiden.

Die bestehenden Methoden zur Unterstützung der o. a. Ansätze weisen jedoch zahlreiche Schwächen auf, die eine breite Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau verhindert haben. Lediglich spezifische Lösungen werden bei einzelnen Unternehmen eingesetzt. Die Ansätze zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Varianten sind immer noch sehr aufwändig. Sie lassen sich damit nur gewinnbringend einsetzen,

---

<sup>12</sup> Aufbauend auf oder in Abgrenzung zu der im Anhang angegebenen Literatur wurden die aufgeführten Ansätze auf ihre Anwendbarkeit geprüft und das Regelwerk entwickelt.

<sup>13</sup> Auch hier wurde die im Anhang aufgeführte Literatur dazu verwendet, das technische Regelwerk methodisch zu konzipieren und in den einzelnen Bestandteilen aufzubauen.

wenn eine komplette Neu- oder umfangreiche Anpassungsentwicklungen des Produkts vorgenommen werden. Für das DtX existiert eine Vielzahl von Verfahren; es gibt jedoch keine Methode, die die Themenbereiche Design to Assembly, Design to Manufacturing und Design to Logistics sowie die Variantenvermeidung integriert betrachtet. Eine Optimierung des Produkts isoliert in Bezug auf einzelne Zielsetzungen führt jedoch zu Mängeln. Mögliche Konflikte der Ansätze werden nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt.

Die Methodik wurde auf die Branche der Baumaschinenhersteller ausgerichtet, sie kann aber auch für vergleichbare Branchen eingesetzt werden, die ähnliche Technologien und Bauweisen verwenden (wie z.B. Stahlbau, Hydraulik, Elektronik- und Steuerungskomponenten). Insbesondere eine fallspezifische Bewertung der unterschiedlichen Baugruppen des Produkts und der eingesetzten Technologien wird ermöglicht.

### **3.1.1 Entwicklung von vereinfachenden Modellen und Hilfsmitteln**

Im Rahmen des Projekts wurden ein Produktmodell zur Bildung von Auftragstypen, ein Regelwerk zur Produktgestaltung, Konfigurationsansätze und Werkzeuge zur Unterstützung der Optimierung entwickelt. Diese Werkzeuge werden im Folgenden dargestellt.

#### **3.1.1.1 Auftragstypen**

Um die Prozesse bewerten zu können, wurden unterschiedliche Auftragstypen zur Konfiguration ermittelt und mit dem OEM-Unternehmen abgestimmt. Diese Auftrags-typen bilden die Grundlage für die Bewertung bzgl. Kosten und Zeiten in den unterschiedlichen Prozessen im Netzwerk.

##### **3.1.1.1.1 Zielsetzung mit dem Einsatz der Auftragstypen**

Die bereits in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene Produktvielfalt in der Baumaschinenindustrie führt zu ebenso vielen unterschiedlichen Prozessvarianten in der Produktion. Durch die Definition von Auftragstypen soll ein höherer Grad der Standardisierung von Abläufen erreicht werden. Dadurch, dass jeder mögliche Kundenauftrag einem bestimmten Auftrags-typ zugeordnet werden kann, ist es möglich Beschaffungs- und Produktionsprozesse für jeden Typ zu definieren und zu standardisieren. Daraus ergeben sich weitere Möglichkeiten, Abläufe zu verbessern und so die Durchlaufzeit insgesamt zu verkürzen.

### 3.1.1.1.2 Vorgehensweise zur Bildung von Auftragstypen

Das Vorgehen zur Bestimmung der Auftragstypen gliedert sich in sechs Schritte, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind.

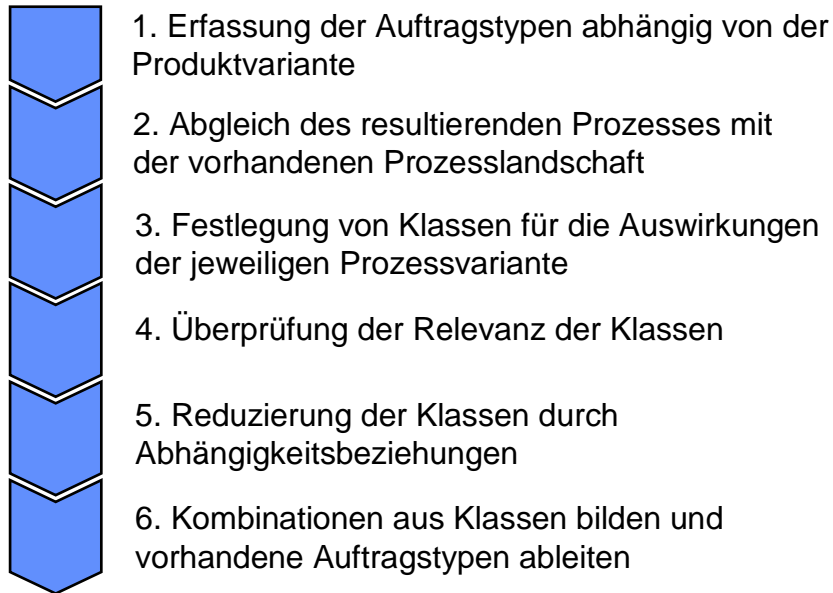


Abbildung 16: Vorgehensweise zur Ermittlung von Auftragstypen

Anhand der möglichen Produktvarianten werden die entsprechenden Prozessvarianten zunächst erfasst. Diese werden für eine eindeutige Beschreibung mit der vorhandenen Prozesslandschaft abgeglichen und für jeden Prozess wird anhand der Produktvariante deren Auswirkung auf den Prozess festgelegt. Die Auswirkung ergibt sich als Abweichung von einem vorher definierten Standardaufwand. Je nach Grad der Abweichung vom Standard werden entsprechend Klassen gebildet.

Die nun vorliegenden Klassen für jeden Prozess werden im Anschluss nochmals auf ihre Relevanz geprüft. Durch die Überprüfung auf Reihenfolgebeziehungen zwischen den Klassen der Prozesse kann die Anzahl möglicher Klassen weiter reduziert werden.

Auf Basis der nun verbleibenden Klassen werden abschließend die entsprechenden Auftragstypen festgelegt. Folgende Abbildung verdeutlicht die einzelnen Auftragstypen.

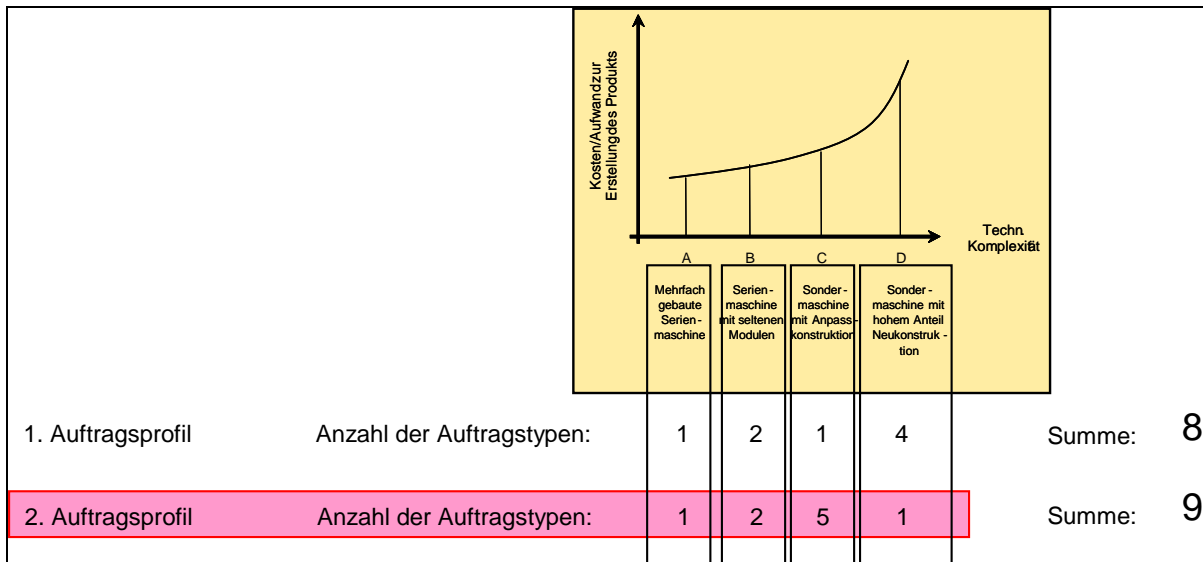


Abbildung 17: Ergebnis einer Ermittlung von Auftragsstypen

### 3.1.1.2 Regelwerk zur Optimierung einzelner Produktkomponenten

In der Baumaschinenindustrie fällt bei einem großen Teil der Kundenaufträge aufgrund spezifischer Besonderheiten zusätzlicher Aufwand für die Konstruktion an. Es entstehen dementsprechend immer wieder neue Varianten, die jedes Mal eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen müssen. Insbesondere vor dem Hintergrund der Vielzahl an eingesetzten Technologien steht der Konstrukteur also vor der Herausforderung, nicht nur die vom Kunden geforderte Funktion zu berücksichtigen, sondern vor allem auch die Anforderungen der Produktion einfließen zu lassen. Um diese Aufgabe zu erleichtern, vor allem da sie in der Baumaschinenindustrie zum Tagesgeschäft gehört, wurde ein datenbankgestütztes Regelwerk entwickelt, das im Folgenden dargestellt wird.

#### 3.1.1.2.1 Zielsetzung

Bei der hohen Komplexität des Untersuchungsraums in der Baumaschinenindustrie und den meist nur qualitativ zu bewertenden Abhängigkeiten kann ein umfassendes Regelwerk mit Gestaltungsempfehlungen die größte Hilfestellung bieten, um das Produkt zu optimieren. Folgende Abbildung verdeutlicht die Komplexität und die aus

ihr abgeleitete Zielsetzung.

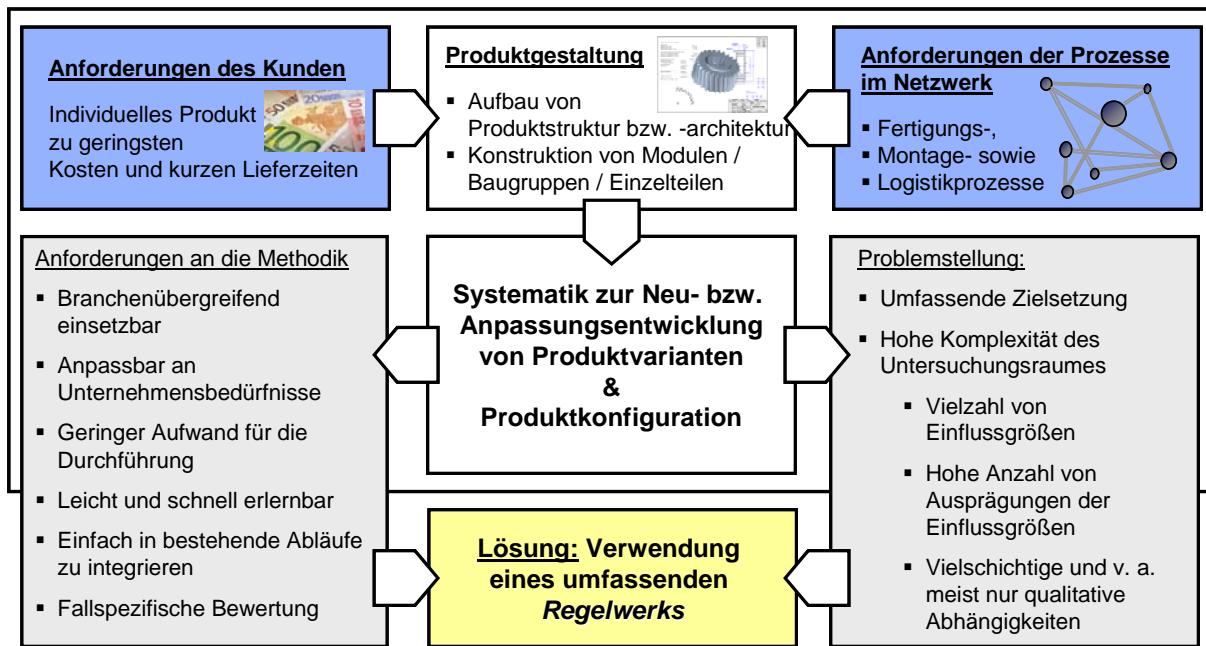


Abbildung 18: Regelwerk zur Optimierung der Produktkomponenten

Folgende Zielsetzungen wurden daraus für die Gestaltung des Regelwerks im Detail abgeleitet:

- Die unterschiedlichen Regeln dienen zur technischen Bewertung des Produkts. Damit lassen sich Schwachstellen im Produkt schnell auffinden und unterschiedliche Zielgrößen wie Kosten und Durchlaufzeit können berücksichtigt werden.
- Bei der Verwendung der Gestaltungsregeln werden Lösungsvorschläge aufgezeigt. Der Benutzer kann hierdurch den Inhalt der Regel besser verstehen und diesen einfacher auf den konkreten Anwendungsfall übertragen.
- Bei der Regel werden Verweise auf weiterführenden Methoden bzw. Ansätze gegeben, die verfolgt werden können, um die vorliegende Produktgestaltung zu verbessern.
- Abhängigkeiten bzw. Konflikte zwischen den Regeln können dargestellt werden. Dem Nutzer obliegt es in diesen Fällen, die Bedeutung einer konstruktiven Änderung abzuschätzen und eine Entscheidung zu treffen.
- Die Regeln bilden die Grundlage für die technische Gestaltung und Prüfung der Änderungsmaßnahme und für die Zuordnung der möglichen Auswirkungen zu den Bewertungsgrößen Kosten und Durchlaufzeiten.
- Das Regelwerk zur Produktgestaltung ist einfach anzuwenden, es kann in unterschiedlichen Phasen in den Produktentwicklungsprozess eingebunden werden

und die Gliederung ist leicht verständlich. Des Weiteren können zusätzliche, anwendungsspezifische Regeln ergänzt werden.

Nach dem ersten Einsatz können die Regeln priorisiert werden. Regeln, die für das Unternehmen und den Anwendungsfall von besonderem Interesse sind, werden damit vom Programm primär angezeigt. Regeln können ebenfalls ausgeblendet werden.

### 3.1.1.2.2 Funktionsweise des Regelwerks

Der Aufbau einer Gestaltungsregel und die unterschiedlichen Beispiele, die sich u. U. gegenseitig ausschließen können, sind möglichst einfach dargestellt, wie sich an folgendem Beispiel erkennen lässt.



Regel-Nr.	Gliederung des Geltungsbereichs der Regel		Regelformulierung (Ideal)	Beispiel (negativ + positiv)	Gestaltungsmöglichkeiten	Methodische	Wechselwirkungen mit	Bewertungs-	
	Fügen	Verschrauben				Hilfsmittel	anderen Regeln		größen
1.4.1.1	Design for Manufacturing / Assembly	Fügen	Verschrauben	Verwechslungsgefahr bei der Montage ausschließen		Symmetrie herstellen	k.A.	1.3.1.1	C, T
						Asymmetrie vorsehen	k.A.	1.3.1.1	

Abbildung 19: Aufbau des Regelwerks zur Produktgestaltung (Beispiel)

Das Regelwerk wurde in unterschiedliche Abschnitte gegliedert, so dass sich möglichst geringe Überschneidungen ergeben. Ein Großteil der Regeln wurde bereits so formuliert, dass sich das Regelwerk prototypisch in der Praxis anwenden lässt. Es wurde an einzelnen Beispielen bei *Putzmeister* und der *Liebherr Mischtechnik* bereits erfolgreich erprobt.

- Bezüglich der variantengerechten Produktstruktur wurden bei *Putzmeister* unterschiedliche Ansatzpunkte ermittelt und umgesetzt, z.B. das Überführen von Elementen des Zusatzumfangs in den Standardumfang eines PUMI®.
- Ebenfalls bei *Putzmeister* wurden im Bereich der montagegerechten Konstruktion Maßnahmen abgeleitet z. B. das Zusammenfassen von Einzelteilen zu vormontierbaren Baugruppen.
- Der Pumpenträger der Mischereinheit von *Liebherr Mischtechnik*, die bei *Putzmeister* die Grundeinheit für den PUMI darstellt, wurde detailliert untersucht. Eine Möglichkeit wurde gefunden, die Variantenanzahl in dieser Baugruppe deutlich zu reduzieren.
- Bei der *Liebherr Mischtechnik* wurde aufbauend auf dem Regelwerk geprüft, ob der hintere Trommellagerbock so umgestaltet werden kann, dass Kosteneinsparungen in den Fertigungs- und Montageprozessen erzielt werden können.

- Weitere Ansätze bei den unterschiedlichen Projektpartnern sind detailliert geprüft worden; viele mussten aber aus technischen oder Kostengründen zurückgestellt und konnten im Rahmen des Verbundprojekts nicht weiter verfolgt werden.

Das erarbeitete Regelwerk zur Produktgestaltung wurde in gängiger Standardsoftware abgebildet (MS Access). Die Übertragbarkeit für ähnliche Produkte aus anderen Branchen ist damit gegeben, da die Strukturen weiter verwendet werden können. Die Regeln können vom Benutzer situationsspezifisch angepasst werden.

Ein Großteil der Regeln wurde bereits so formuliert, dass sich das Regelwerk bereits prototypisch in der Praxis anwenden ließ. Es wurde an einzelnen Beispielen bei *Putzmeister* und der *Liebherr* Mischtechnik bereits erfolgreich erprobt.

#### 3.1.1.2.3 Erläuterung der einzelnen Bestandteile

Das Regelwerk ist in insgesamt vier Bereiche unterteilt. Unterschieden werden Gestaltungsregeln für die Fertigung und Montage, zur Erfüllung von logistischen Anforderungen, zur Unterstützung von Flexibilität und zur Erleichterung des Umgangs mit Varianten. Innerhalb jedes dieser vier Bereiche gibt es Unterstrukturen, die zur Gliederung der einzelnen Regeln dienen. Diese Strukturen so wie Beispiele für einzelne Regeln werden im Folgenden beschrieben.

##### 3.1.1.2.3.1 Design for Manufacturing and Assembly

Die Gestaltungsregeln für Fertigung und Montage orientieren sich an den bekannten Ansätzen von Boothroyd und Dewhurst.<sup>14</sup> Die Unterstruktur innerhalb des Regelwerks teilt die Regeln nach Trennen, Umformen, Urformen, Fügen und Montage ein, sowie in einer weiteren Detaillierungsebene einzelnen Technologien dieser Hauptgruppen. Die folgende Abbildung verdeutlicht die Struktur der Designregeln dieses Abschnitts.

---

<sup>14</sup> Vgl. Boothroyd, Dewhurst (1988)

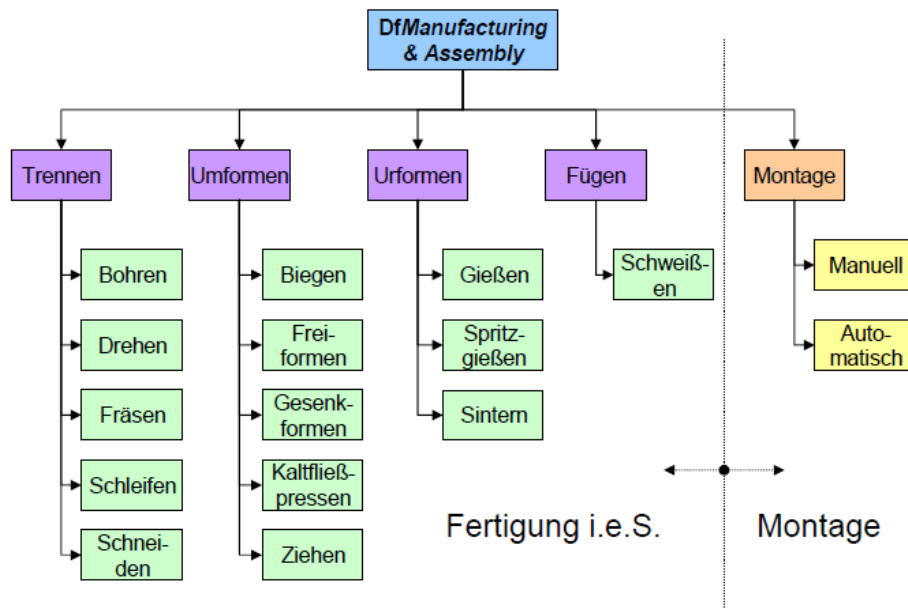


Abbildung 20: Struktur des Regelwerks für Fertigung und Montage

Typische Beispiele für Gestaltungsregeln dieser Kategorie sind

- das Anstreben einer Geometrie, die den Einsatz von einfachen Formmeißeln erlaubt,
- das Vorsehen ausreichender Spannflächen oder
- die Vermeidung von großvolumiger Zerspanarbeit.<sup>15</sup>

Für den Bereich Fertigung und Montage wurden insgesamt etwa 300 Gestaltungsrichtlinien aus Literatur und Projekterkenntnissen angelegt. Weitere unternehmens- oder bauteilspezifische Gestaltungsregeln können durch den Konstrukteur angelegt werden.

### 3.1.1.2.3.2 Design for Logistics

Zielsetzung der logistikgerechten Produktentwicklung ist, Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen im Herstellungsprozess bereits durch Entscheidungen in der Produktentwicklung zu realisieren. Messbare Ziele umfassen dabei z.B. eine Erhöhung der Packungsdichte, die Reduktion der Teilevielfalt sowie der Spezialladungsträger zugunsten der Verwendung von Universalladungsträgern.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Vgl. Pahl et al. (2005), S. 434

<sup>16</sup> Vgl. Pawellek et al. (2007), S. 355



Eine frühzeitige Berücksichtigung logistikrelevanter Aspekte in der Produktentwicklung verbirgt nicht nur erhebliche Kosteneinsparungspotentiale, sondern beinhaltet noch weitere Vorteile:<sup>17</sup>

- Harmonisierung der Materialflussstruktur,
- Reduzierung der Durchlaufzeit,
- Verschiebung des Konfigurationszeitpunktes und damit eine Verkürzung der Lieferzeit sowie
- eine positive Beeinflussung des Zeit-Kosten-Verlaufs in Richtung geringerer Kapitalbindung.

Zu den grundlegenden Ansätzen, die im Regelwerk vertieft und erweitert werden, sind u.a. folgende Punkte zu zählen:<sup>18</sup>

- Reduktion der Sperrigkeit durch Realisierung kompakter, homogener Bauteilformen: Diese Maßnahme beeinflusst überdies positiv die Stapelbarkeit und Packungsdichte im Lagerraum und reduziert somit die Verpackungskosten.
- Beachtung von Standardgrößen unterschiedlicher Ladungsträger (Paletten, Gitterboxen, Container etc.).
- Die Gewichtsreduzierung erleichtert die Handhabung und reduziert das Ausmaß der Nutzung von Hilfsmitteln für das Verladen, Umschlagen und Bewegen.
- Spezielle Transportlagen vermeiden, um das Verpacken und Bewegen zu erleichtern.
- Produkte eigenstabil, temperaturstabil und derart gestalten, dass von ihnen keine Gefahr für Mensch und Umwelt ausgehen.
- Durch das Vorsehen von Tragehilfen, Hängevorrichtungen usw. transport- und handhabungsgerechte Produktstrukturen realisieren.
- Minimierung der Bearbeitungsschritte, um den Materialfluss in der Fertigung und Montage zu reduzieren.

---

<sup>17</sup> Vgl. Pawellek (2002), S. 373 f.

<sup>18</sup> Vgl. Pawellek et al. (2005), S. 74

Die Struktur der Regeln für logistikgerechte Gestaltung lassen sich folgender Abbildung entnehmen:

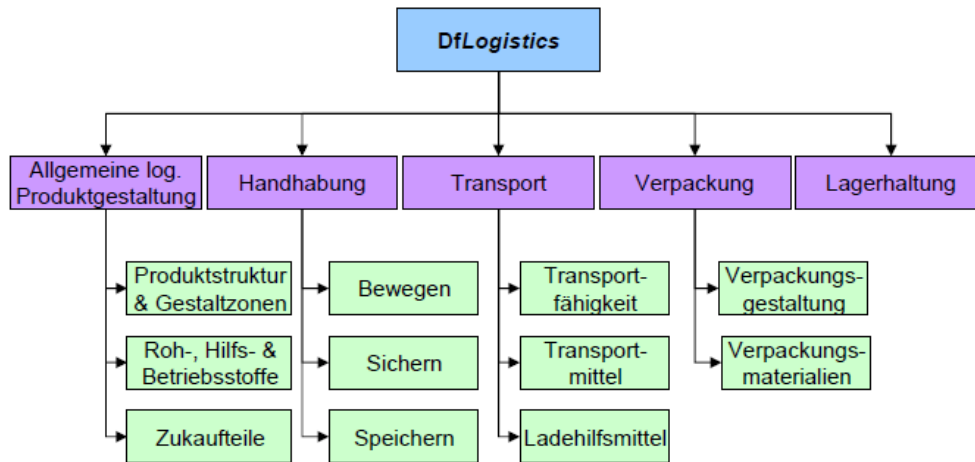


Abbildung 21: Struktur des Regelwerks für Logistik

Es wurden etwa 200 Gestaltungsregeln für diese Kategorie erfasst.

### 3.1.1.2.3 Design for Flexibility

Unter dem Begriff Flexibilität wird im Allgemeinen die Fähigkeit verstanden, sich auf alternative Situationen anzupassen.<sup>19</sup> Im Rahmen des Projekts BAU-MO 2008 wurde vor allem die Fähigkeit hinsichtlich der Veränderungen operativer Änderungen untersucht. Hierbei geht es vor allem darum, Bauteile auf verschiedene Art und Weise fertigen zu können, abhängig z.B. von den Rahmenbedingungen bei Lieferanten oder auf dem Rohstoffmarkt.<sup>20</sup> Des Weiteren wurde die Fähigkeit untersucht, den Produktmix hinsichtlich neuer oder geänderter Anforderungen des Kunden anzupassen. Hierbei geht es weniger um die Veränderung der Fertigungsbedingungen, sondern vielmehr um die Änderbarkeit des Produkts unter geänderten Rahmenbedingungen.<sup>21</sup>

Während sich der erste Aspekt des untersuchten Flexibilitätsbegriffs vor allem auf die Änderung der Bedingungen in der Produktion bezieht, meint der zweite vor allem die Anpassungsfähigkeit eines Produkts in seiner Gestaltung. Zielsetzung für eine Produktgestaltung ist es also, dass das Produkt sowohl schnell an neue Anforderungen

<sup>19</sup> Vgl. Pfohl (1996), S. 319.

<sup>20</sup> Vgl. Sethi, Sethi (1990), S. 304.

<sup>21</sup> Vgl. Gerwin (1982), S. 182.

angepasst werden kann, ohne dass große Änderungen in den Abläufen in der Produktion folgen, als auch, dass Änderungen in den verwendeten Technologien nicht zu umfassenden Änderungen am Produkt führen.

Unterschieden wurden bei der Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen daher die Begriffe Produktflexibilität und Arbeitsplanflexibilität. Folgende Abbildung gibt eine Übersicht zur Strukturierung der Einzelmaßnahmen.

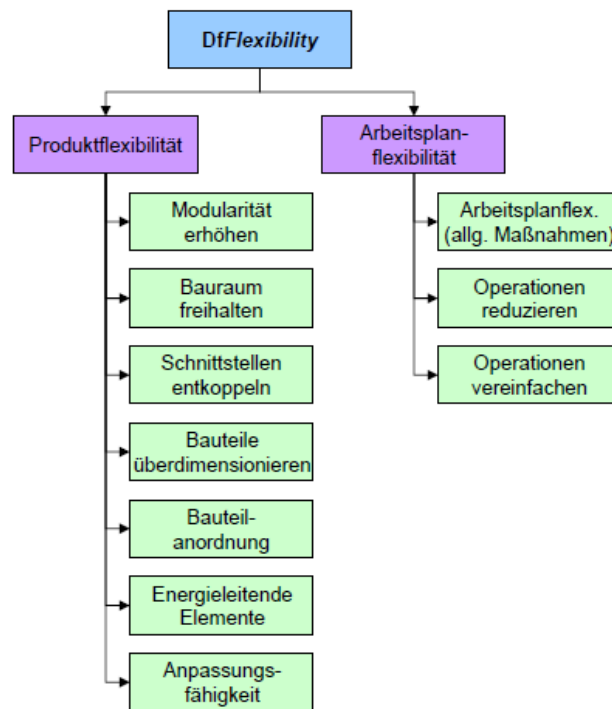


Abbildung 22: Struktur des Regelwerks für Flexibilität

Als erste Möglichkeit Produkte flexibler zu gestalten wurde die Modularisierung aufgeführt. Im Rahmen des Projekts BAU-MO 2008 wurde zu diesem Thema eigens eine neue Methode entwickelt, die in Abschnitt 3.1.1.3.1 näher erläutert wird. Zielsetzung der Produktgestaltung ist es hierbei, durch einen modularen Aufbau des Produkts zum einen die Prozessabfolge in der Produktion zu vereinfachen und zum Anderen die Austauschbarkeit der Funktionen sicherzustellen.

Eine weitere Möglichkeit Änderungen zu erleichtern, stellt die Anordnung der Bauteile und die Vorhaltung von Bauraum dar. So werden zum einen die Bauteile außen angeordnet und mit wenigen Schnittstellen versehen, was den Aufwand bei Änderungen reduziert, zum Anderen wird Bauraum vorgehalten, der bei Änderungen an der Dimensionierung genutzt werden kann. Auch der Anschluss weiterer Elemente an eine durch zusätzlichen Bauraum zugängliche Energieleitung, wird verbessert.

Hinsichtlich der Dimensionierung von Bauteilen und Komponenten kann es sinnvoll sein, einzelne Baugruppen für später geplante oder mögliche höhere Leistungen bereits im Vorfeld größer zu dimensionieren. Dies reduziert den Änderungsaufwand in solch einem Fall.

Die Flexibilität des Arbeitsplans bezieht sich wie beschrieben vor allem auf die Möglichkeit, Bauteile mit unterschiedlichen Verfahren herstellen zu können. Dies setzt voraus, dass Bauteile mit möglichst wenigen unterschiedlichen Technologien gefertigt werden können, was in der Folge z.B. beim Fügen auch geringeren Änderungsaufwand im Falle eines Technologiewechsels zur Folge hat. Die Vereinfachung der Bearbeitungsoperationen erleichtert den Einsatz auch weniger technisierter Maschinen, was dadurch die Flexibilität erhöht. Dies betrifft z.B. die Spannflächen, die benötigten Bearbeitungswerkzeuge oder das Ausgangsmaterial. Allgemein sollte darauf geachtet werden, spezielle Verfahren durch Zulieferer abwickeln zu lassen, bzw. bei der Gestaltung auf den bereits bestehenden Maschinenpark und dessen Auslastung Rücksicht zu nehmen.

#### **3.1.1.2.3.4 Variantengerechte Produktgestaltung**

Durch die gestiegenen Anforderungen an die Produktvielfalt durch

- technologischen Fortschritt
- Internationalisierung der Märkte und damit Zunahmen der Kundenanforderungen und die
- Zunahme des Wettbewerbsdrucks durch Globalisierung<sup>22</sup>

ergeben sich in der Folge komplexe und vielfältige Produktstrukturen, die auch in der Produktion beherrscht werden müssen. In der Folge entstehen zusätzliche Kosten durch zusätzliche Vorrichtungen oder weniger effizient arbeitende Anlagen.<sup>23</sup>

Zielsetzung für die Gestaltung der Produkte ist es also, eine weitgehende Reduzierung der Varianten aus Sicht der Produktion zu erreichen.

Die verwendeten Gestaltungsregeln beziehen sich dabei auf zwei unterschiedliche Detaillierungsebenen des Produkts. Auf der Ebene des gesamten Produkts ist es für eine Vereinfachung der Steuerung und eine Reduzierung der Vielfalt in der Produkti-

---

<sup>22</sup> Vgl. Franke, Firchau (2001), S. 2ff.

<sup>23</sup> Vgl. Franke, Firchau (2001), S. 4.

on das Ziel, Varianten so spät wie möglich in die Produktion einzuschleusen. Damit verbunden ergeben sich Vorfertigungsprozesse, die einen wesentlich höheren Standardisierungsgrad aufweisen können und damit auch effizienter arbeiten.<sup>24</sup>

Für die Reduzierung dieser Varianten in der Produktion bieten sich auf Produktebene vor allem Ansätze zur Produktstrukturierung an. Neben den bereits beschriebenen Modulen sind dies Plattformen, Baureihen oder Baukästen. Plattformen stellen in diesem Zusammenhang eine Untervariante der Modulbildung dar, indem sie eine Basis für die übrigen Module bilden.<sup>25</sup> Ziel ist es hierbei, die Plattform für alle Produktvarianten gleichermaßen einzusetzen.

Baureihen bieten eine Variantenvielfalt hinsichtlich der Leistungsfähigkeit. D.h. die Produktgestaltung und Funktion bleibt prinzipiell gleich, lediglich die Auswirkungen der Dimensionierung sind berücksichtigt. Somit ergeben sich Unterschiede hinsichtlich der Dimensionen, aber nicht hinsichtlich der Technologien. Baukästen schließlich ermöglichen beliebige Funktionskombinationen für ein Produkt. Ein Baukastensystem bietet sich gegenüber Einzellösungen immer dann als technisch und wirtschaftlich günstiger an, wenn alle oder einzelne Funktionsvarianten eines Produktprogramms nur in kleinen Stückzahlen nachgefragt werden und es gelingt, das Spektrum an geforderten Funktionalitäten nur durch wenige Grund- und Zusatzbauteile zu realisieren.<sup>26</sup> Eine ähnliche Dimensionierung der unterschiedlichen Varianten ist der Stellhebel zur Unterstützung dieser Struktur.

Auf Teileebene sollte als grundsätzliches Ziel verfolgt werden, Fertigungsfamilien zu bilden. Hierbei sind funktionale Unterschiede zulässig, lediglich die Fertigungsanforderungen sollen ähnlich sein.<sup>27</sup>

Bei höheren Stückzahlen und kleinen bis mittelgroßen Bauteilen ist in der Regel eine integrale Bauweise die kostengünstigere Lösung. Integrale Bauweisen werden durch Urformverfahren (Gießen, Spritzgießen, Sintern) sowie Umformverfahren (Schmieden, Tiefziehen, Pressen) ermöglicht und verringern durch die Integration mehrerer Funktionen und Teilen die Teilevielfalt in einem Betrieb. Durch die zeitliche und räumliche Integration diverser Einzelarbeitsgänge in der Fertigung und Montage

---

<sup>24</sup> Vgl. Mark, Ishii (1997), S.5.

<sup>25</sup> Vgl. Schmidt (2002), S. 61.

<sup>26</sup> Vgl. Pahl et al (2005), S. 634.

<sup>27</sup> Vgl. Ehrlenspiel et al. (2003) S. 302 f.

werden zusätzlich sämtliche Materialflussoperationen zwischen den integrierten Fertigungsoperationen eliminiert. Den aufgezählten Vorteilen steht ein Verlust an Flexibilität gegenüber, da Änderungen an einem Bauteil nicht mehr ohne weiteres möglich sind und die Erstellung neuer Formen und Modelle zeit- und kostenintensiv ist. In der Regel ergeben sich bei der Wahl einer integralen Bauweise zunächst hohe Einmalkosten für Werkzeuge, die eine solche Bauweise gegebenenfalls erst bei höheren Stückzahlen wirtschaftlich machen.

In der Einzel- und Kleinserienfertigung ist die Differentialbauweise insbesondere bei großen Bauteilen kostengünstiger. Der große Vorteil differenzialer Bauweisen ist in der erhöhten Flexibilität zu sehen. Ein Austausch oder die Anpassung einzelner Teile ist leichter und kostengünstiger möglich. Zusätzlich wird das Fertigungsrisiko aufgrund der geringeren fixen Kosten für Modelle, Formen und spezielle Maschinen reduziert. Zwar erhöht die Differentialbauweise aufgrund der erhöhten Teileanzahl und der höheren Anzahl unterschiedlicher Fertigungs- und Montageoperation die Komplexität im Betrieb, andererseits lässt sich durch die Differentialbauweise in der Einzel- und Kleinserienfertigung eine Verringerung des Terminrisikos und eine Verkürzung der Produkterstellungszeit, zum Teil durch Parallelisieren verschiedener Arbeitsschritte, erzielen.

Abschließend stellt die folgende Abbildung die Struktur der Regeln im Regelwerk dar.

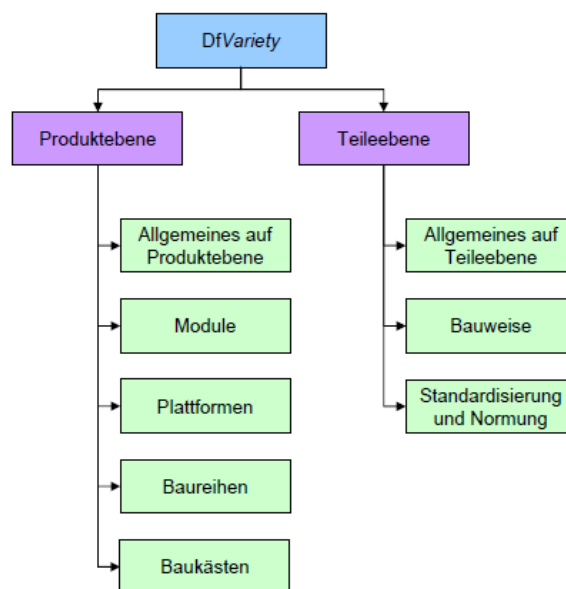


Abbildung 23: Struktur des Regelwerks für Variantenreduzierung

### 3.1.1.3 Vorgehensweise zur Optimierung von Produktstruktur und Produktarchitektur

Aufgrund der Variantenvielfalt in der Baumaschinenindustrie werden viele Produkte modular aufgebaut, um zum einen die Komplexität der Varianten zu verringern und zum anderen eine Erweiterung der bereits beim Kunden befindlichen Produkte zu ermöglichen. Die entwickelten Module zielen dabei vor allem auf die Integration von Kundenfunktionen ab. Bei der Analyse der Modulstrukturen und deren Einfluss auf die Prozessstrukturen wurde festgestellt, dass diese vielfach einen hohen Aufwand in der Fertigung verursachen, da sie ausschließlich aufgrund von Kundenanforderungen definiert wurden, die Anforderung der Produktion in der Struktur hingegen nicht berücksichtigt wurden. Die Integration der Anforderungen der Produktion in die Bildung einer Modulstruktur wurde dementsprechend als Zielsetzung im Rahmen des Projekts BAU-MO 2008 definiert.

#### 3.1.1.3.1 Prozessorientierte Modularisierung

Bei der Analyse bestehender Ansätze zur Entwicklung von Modulstrukturen, konnten eine Vielzahl von Methoden ermittelt werden. Eine Übersicht zu den wichtigsten Methoden kann folgender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 1: Übersicht der wichtigsten Methoden zur Modularisierung

Methoden	Vorgehen	Ziel
<i>Design structure matrix</i> <sup>28</sup>	1. Interaktion zwischen Komponenten bzw. Funktionen aufnehmen 2. Berechnung einer optimalen Modularisierung (Maximierung der Interaktionen innerhalb der Module, Minimierung der Interaktion mit anderen)	Minimierung der Interaktion zwischen den verschiedenen Modulen
<i>Modular function deployment</i> <sup>29</sup>	1. Aufstellen der Matrix, 2. Bildung der Module nach den Modultreibern 3. Bewertung der Module mit den Modultreibern	Betrachtung festgelegter strategischer Faktoren / Entscheidung über Interaktionen (Schnittstellen) und Funktionalität beim Designer

<sup>28</sup> Vgl. Pimpler, Eppinger (1994).

<sup>29</sup> Vgl. Ericsson, Erixon (1999).

Methoden	Vorgehen	Ziel
<i>Axiomatic Design</i> <sup>30</sup>	1. Ermittlung der Kundenanforderungen, 2. Ableitung der Funktionen 3. Ableitung einer möglichen physischen Struktur 4. Ableitung einer möglichen Produktionsstruktur	Entwicklung von Produkten mit voneinander unabhängigen Komponenten (Modulen)
<i>Modular Product Development</i> <sup>31</sup>	Herunterbrechen der Funktionen und Unterteilung in Funktionen und Unterfunktionen. Weitere Untergliederung in: Grund-, Hilfs-, Spezial- und Anpassungsfunktionen	Vollständige Bewertung der Alternativen und Auswahl der optimalen Alternative im Hinblick auf finanzielle und technische Eigenschaften
<i>Modeling the Product Modularity</i> <sup>32</sup>	1. Spezifikation der maximalen Teileanzahl pro Modul; 2. Aufstellen der 2 Matrizen mit Zeilenzahl=Teilezahl; 3. Zusammenfügen der Matrizen so dass sich die Kombinationen der Teile / Funktionen ablesen lassen.	Reduktion der Entwicklungszeit und -kosten durch Erhöhung der strategischen Flexibilität durch Ableitung von Varianten aus bestehenden Produkten

Die vorhandenen Methoden fokussieren vor allem auf die Integration von Kundenfunktionen in die Modulstruktur, während Anforderungen der Produktion nicht berücksichtigt werden. Es handelt sich also um eine funktionsorientierte Modularisierung.

Um bei der Modularisierung von Produkten bereits die Anforderungen der Produktionsprozesse zu integrieren, wurden die bestehenden Methoden zur Modularisierung dahingehend bewertet, ob sie eine Integration von Produktionsanforderungen ermöglichen. Als Ergebnis dieser Bewertung wurde die Modular Function Deployment (MFD)-Methodik als geeignet ausgewählt.

Die MFD-Methodik basiert auf zwei zentralen Elementen. Dies sind zum einen die Modultreiber, die Ziele bei der Bildung von Modulen repräsentieren und zum anderen die Module Indication Matrix (MIM).<sup>33</sup> Diese Matrix dient zur Bewertung einzelner Module hinsichtlich ihrer Zielerreichung bezogen auf die Modultreiber. Da in dieser Methodik bereits Ansätze zur Integration von Produktionsanforderungen gegeben waren, wurde sie zur Weiterentwicklung ausgewählt.

<sup>30</sup> Vgl. del Taglia, Campatelli (2006).

<sup>31</sup> Vgl. Pahl, Beitz (1996).

<sup>32</sup> Vgl. Huang, Kusiak (1996).

<sup>33</sup> Vgl. Ericsson, Erixon (1999).



Das entwickelte Verfahren basiert dabei auf sechs Schritten, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind.

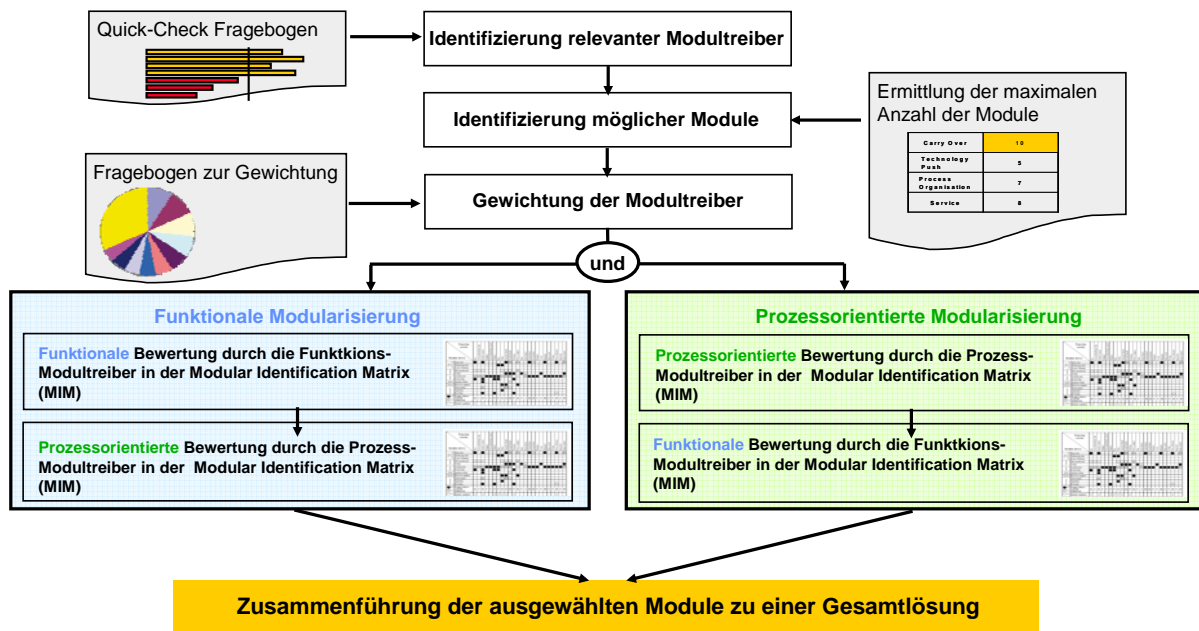


Abbildung 24: Vorgehen zur prozess- und funktionsorientierten Modularisierung

Zentrale Elemente sind weiterhin die MIM und die Modultreiber. In der ursprünglichen Vorgehensweise bestand jedoch nicht die Möglichkeit, einzelne Modultreiber höher zu gewichten als andere. Durch die Befragung des Anwenders mit Hilfe von standardisierten Fragenkatalogen wird in der entwickelten Vorgehensweise ein Gewichtungsfaktor für die einzelnen Modultreiber auf Basis unternehmensspezifischer Gegebenheiten ermittelt. Da der Aufwand für das Ausfüllen des Fragebogens möglichst gering sein soll, werden zuvor mittels der Quick-Check-Fragebögen nur die Modultreiber ausgewählt, die für das jeweilige Umfeld auch tatsächlich relevant sind. Die bestehenden Modultreiber wurden um drei besonders produktionsrelevante Modultreiber wie Logistik, Produktionskosten oder Verfügbarkeit von Lieferanten ergänzt.

Mit den so gewichteten Modultreibern wird analog zur MFD-Vorgehensweise eine Bewertung der einzelnen Module durchgeführt. Im Gegensatz zur ursprünglichen Vorgehensweise, werden die Module jedoch sowohl aus funktions- als auch aus prozessorientierter Sicht bewertet. Diese beiden Sichtweisen werden parallel berücksichtigt, so dass am Ende der Bewertung Module ausgewählt werden, die sowohl funktions- als auch prozessorientiert sind. Lediglich der Schwerpunkt kann zu der einen oder anderen Sicht verschoben sein.

Im nächsten Schritt werden Überschneidungen zwischen den Modulen ermittelt und mit Hilfe der Gewichtungsfaktoren wird entschieden, welches Modul jeweils dominant

ist. Die übrig gebliebenen Module werden auf die Möglichkeit einer weiteren Zusammenfassung untersucht. Die sich dann bildende Struktur ist die Basis-Produktstruktur. Sie wird im letzten Schritt um die noch fehlenden Komponenten ergänzt und hinsichtlich ihrer zukünftigen Erweiterbarkeit bewertet.

Als Ergebnis liegt dann die nach Funktions- und Produktionsgesichtspunkten optimale Produktstruktur vor. Dabei werden Varianten ebenso wie auch Standardmodule berücksichtigt.

### 3.1.1.3.2 Voraussetzungen für den Einsatz in der Baumaschinenindustrie

Um die Methodik in der Baumaschinenindustrie einsetzen zu können, sind einige Voraussetzungen zu erfüllen, die für eine sinnvolle Bewertung bzw. Gewichtung der Modultreiber notwendig sind. Dies sind die

- Kenntnis der Probleme im aktuellen Wertstrom,
- Kenntnis aktuell vorhandener Probleme in der Logistik,
- Kenntnis aktueller und zukünftig verfügbarer Lieferanten und
- Kenntnis der Komponenten des aktuellen Produkts, die in der Produktion besonders kostenintensive sind.

Diese Informationen werden benötigt, um die Fragen in den Gewichtungsfragebögen zu beantworten und somit den prozessbezogenen Modultreibern ein ausreichendes Gewicht zu verleihen.

Des Weiteren eignen sich nur ausreichend komplexe Bauteile mit entsprechend vielen Varianten für die Anwendung der Methode. Da sie davon ausgeht, dass die Anzahl der Optionen für eine Modulstruktur bzw. die Ausgestaltung eines einzelnen Moduls hoch ist, ist eine Komplexität von mindestens zehn Hauptbaugruppen erforderlich. Des Weiteren kommt der Nutzen der Methode vor allem bei einer hohen Anzahl an Varianten zum Tragen. Hier lässt, wie oben bereits beschrieben, die Vielfalt der Module einen gewissen Gestaltungsspielraum zu, der für die Generierung möglichst vieler Moduloptionen notwendig ist. Bei Produkten, die hier zu wenig Gestaltungsoptionen bieten, kann in der Regel keine oder nur eine geringfügige Verbesserung erreicht werden.

Für die Baumaschinenindustrie eignet sich die Methode vor allem bei der Neukonstruktion bzw. umfassenden Überarbeitung bestehender Produkte. Da die Ergebnisse der Methodik u.U. umfassende Änderungen an der bestehenden Produktstruktur er-

fordern, sollte sie vor allem bei der Überarbeitung kompletter Produkte angewendet werden, da der Änderungsaufwand für die Konstruktion und Produktion u.U. nicht wirtschaftlich vertretbar wäre.

Abschließend lässt sich feststellen, dass sich die Methodik vor allem für die betrachteten Produkte wie Fahrnischer einsetzen lässt. Da allerdings ein Großteil des Produkts vom Lieferanten bereitgestellt wird, ist es für die Generierung eines entsprechenden Nutzens für die Produktion erforderlich, dass auch die Entwicklungsabteilungen des Lieferanten integriert werden. Andernfalls ist der Gestaltungsspielraum zu gering, als dass eine deutliche Verbesserung der Produktstruktur erreicht werden könnte.

#### **3.1.1.4 Werkzeuge zur Optimierung**

Als Ergebnis des Projekts wurden für den Bereich der Produktoptimierung verschiedene Werkzeuge entwickelt. Dies betrifft zum einen die entwickelte Software<sup>34</sup> zur Produkt- und Netzwerkkonfigurator (detaillierte Beschreibung in Kapitel 3.3), der eine ganzheitliche Optimierung von Produkt, Prozess und Netzwerk ermöglicht, und zum anderen eine Datenbankanwendung für den Konstrukteur, die es ihm ermöglicht Design-Regeln einzelnen Produktelementen zuzuordnen.

Diese beiden Werkzeuge werden im Folgenden dargestellt. Des Weiteren wird ein Leitfaden zur Produktoptimierung dargestellt.

##### **3.1.1.4.1 Datenbankbasiertes Werkzeug zur Auswahl von Gestaltungsregeln**

Das Konzept des Regelwerks wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben. Die Umsetzung erfolgt in Form einer Access®-Datenbank. Die wesentlichen Bestandteile dieser Datenbank sollen hier kurz beschrieben werden:

Der Anwender gelangt über die Startmaske zu den unterschiedlichen Funktionen. Die Startmaske ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

---

<sup>34</sup> In der prototypischen Umsetzung wurden Teilfunktionen realisiert.

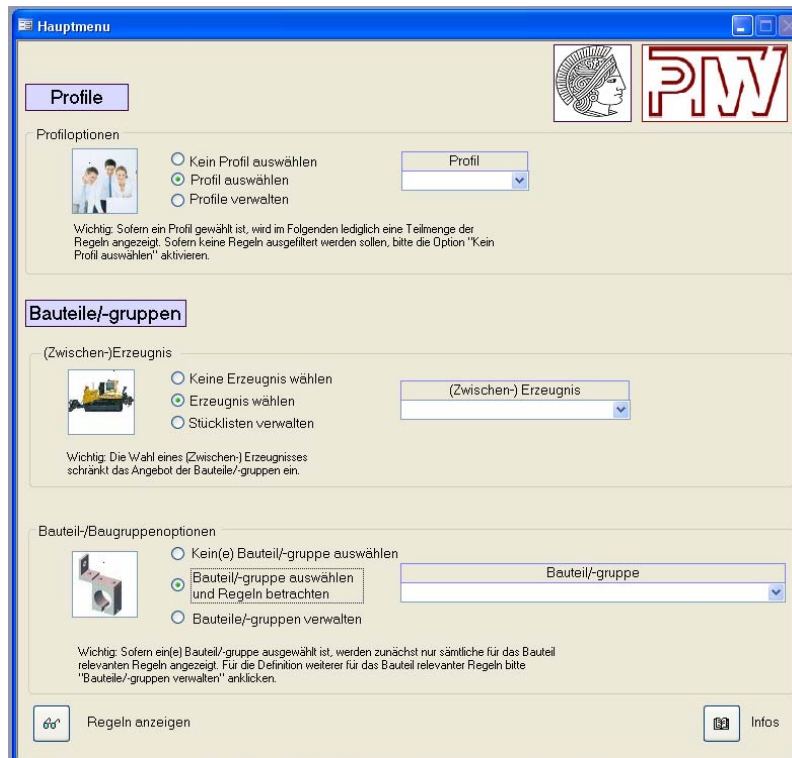


Abbildung 25: Startmaske des Software-Prototyps für das Regelwerk

Der Nutzer kann hier ein anwenderspezifisches, ein bauteilspezifisches Profil oder eine Kombination der beiden Profile auswählen.

Ein Nutzerprofil kann vom Anwender festgelegt werden. Dies ist meist verknüpft mit einem Bewertungsprofil.

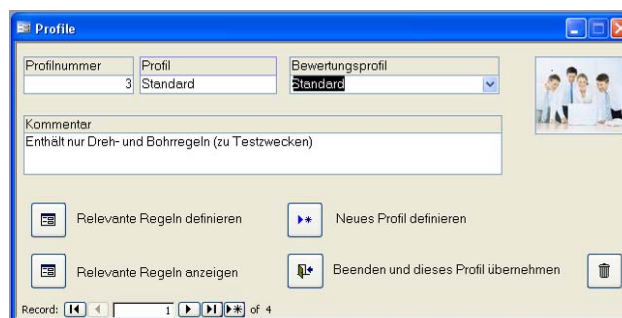


Abbildung 26: Anlegen von Anwenderprofilen

Der Anwender verfügt auch über die Möglichkeit, Baukasten-Stücklisten einzulesen und diese zu verwalten (siehe Abbildung 27).

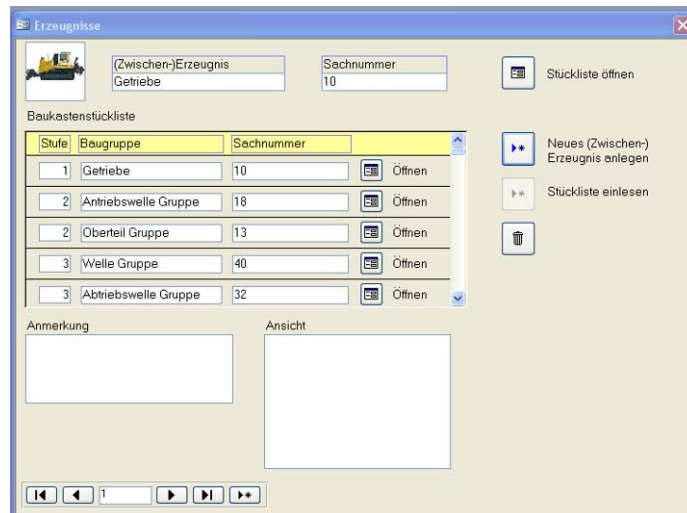


Abbildung 27: Verwaltung von Stücklisten

Er kann einzelne Bauteile ebenfalls betrachten und diese verwalten (siehe Abbildung 28).

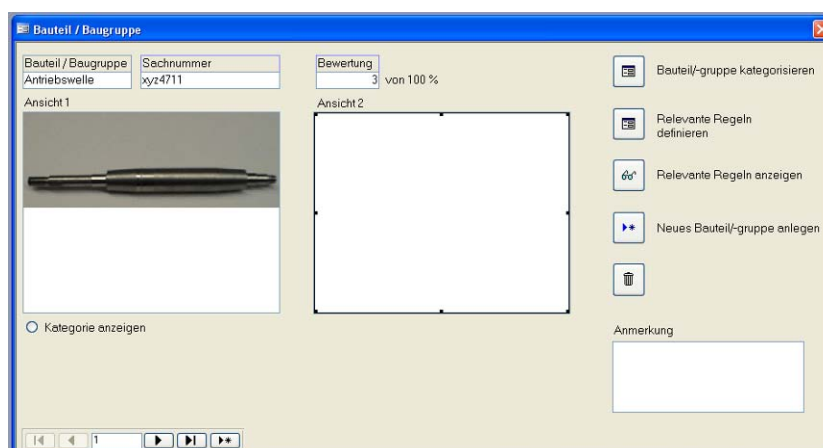


Abbildung 28: Verwaltung von einzelnen Bauteilen

Ohne eine Auswahl eines Profils kann der User sich alle in der Datenbank abgelegten Regeln anzeigen lassen (siehe Abbildung 29).

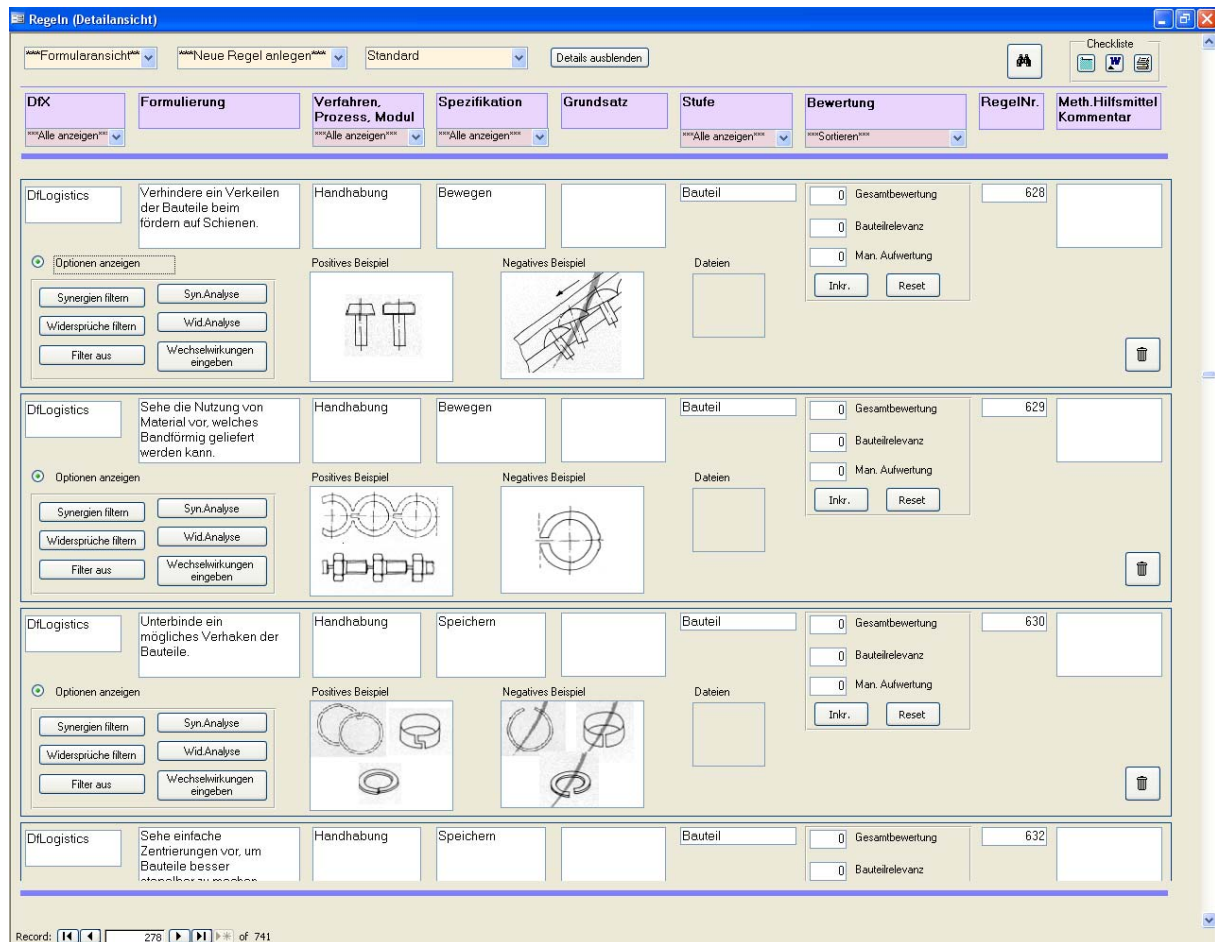


Abbildung 29: Übersichtsdarstellung ausgewählter Konstruktionsregeln

Dem Anwender bietet sich hier eine Vielzahl an weiteren Möglichkeiten. Er kann die Regeln durchsehen, weitere Regeln hinzufügen, gezielt nach einzelnen Regeln suchen etc. Aufgrund der Vielzahl der abgebildeten Regeln und möglichen Funktionen der Software werden hier nur die Kernbestandteile vorgestellt.

Die Bewertung der unterschiedlichen Regeln muss für den Anwender möglich sein. Er kann die Regeln für eine allgemeine Ansicht gewichten, aber auch spezifisch für einzelne der angesprochenen Profile. Dies erfolgt durch eine Eingabe des Anwenders. Er kann die Regel inkrementell höher gewichten oder beliebige, neue Werte eingeben. Somit ist er in der Lage, die Regeln in den Ansichten nach der Bewertung zu priorisieren. Mit Hilfe der vorgesehenen Filterfunktionen kann er den Kreis der relevanten Regeln weiter einschränken. Unter anderem kann er die Regeln nach dem Gültigkeitsbereich festlegen. So bestehen z.B. Regeln die für das gesamte Produkt oder nur für eine Gestaltzone anwendbar sind.

Desgleichen lassen sich Bewertungsprofile z.B. für bestimmte Anwendungsfälle festlegen und modifizieren.

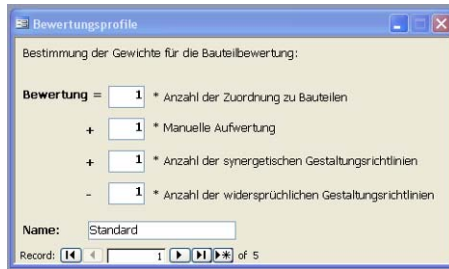


Abbildung 30: Eingabemaske zur Definition und Modifikation von Bewertungsprofilen

Neue Regeln lassen sich ebenfalls eingeben. Hier lassen sich die entsprechenden Verknüpfungen zu den in der Datenbank vorgenommenen Gliederungspunkten und damit den Filtern etc. herstellen.

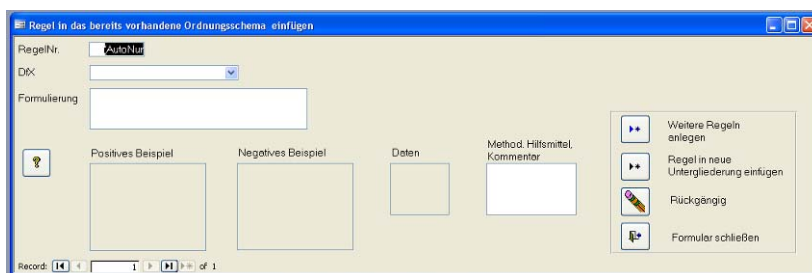


Abbildung 31: Eingabemaske für neue Regeln

Des Weiteren kann der Anwender Widersprüche und Synergien von Regeln eingeben. Über ein einfaches Kennzeichnen der Regeln ist die Abbildung von Synergien möglich.

DFX	RegelNr.	Regel	Synergien (Gruppe)	Widersprüche (Gruppe)
DFMaintenance	440	Harmonisierung der Lebensdauer der Einsatzteile.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DFMaintenance	471	Sobem einzelne Komponenten nicht die Gebrauchsdauer des Produktes standhalten können, sind gleiche Gebrauchsdauer der Komponenten	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DFManufacturing & Assembly	274	Gerade Trennlinien vorsehen, um erhöhten Formkosten vorzubeugen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DFManufacturing & Assembly	275	Aus wirtschaftlicher Sicht das Gießen von (insbesondere von äußeren) Gewinden deren spanenden Fertigung vorziehen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DFManufacturing & Assembly	277	Vermeiden scharfer Kanten, spitzer Winkel und tangentialer Übergänge.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DFManufacturing & Assembly	278	Vermeiden von Abrundungen und spitzen Winkeln am Werkzeug	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 32: Eingabemaske für Synergien und Widersprüche zwischen den Regeln

Der User kann sich die Synergien auch überblicksartig anzeigen lassen.



Drop Filter Fields Here		Synergien (Gruppe)																			
Regel	Regelnr	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Produkt unterfahrbar (für den Einsatz von Flurförderfahrzeugen) gestalten, um eventuell auf Paletten verladen zu werden	515													X							
Ausparungen vorsehen, um bei dem Einsatz von Flurförderfahrzeugen eventuell auf Paletten verzichten zu können	513													X							
Für manuelle Handhabung unhandlicher oder schwerer Teile ergonomische Greifflächen vorsehen.	530				X																
Ordne Greifflächen in der Schwerpunktlage des Bauteils an.	647				X																
Gestalte die Teile so, dass sie leicht rollbar sind.	609					X															
Rollbare Teile so Gestalten, dass man sie richtungsstabil rollen kann.	666					X															
Rollfähige Fügeteile anstreben.	696					X															
Große, rollbare Bauteile oder Produkte so gestalten, dass die Rollen fixiert werden können, um einen sicheren Stand zu gewährleisten.	1165					X															
Harmonisierung der Lebensdauer der Einsatzteile.	448		X																		
Sofern einzelne Komponenten nicht die Gebrauchsdauer des Produktes standhalten können, sind gleichzeitige Ersatzteile vorzusehen.	471		X																		
Minimiere die Anzahl der Bauteile, z.B. durch integrale Bauweisen.	497									X											
Minimiere die gesamte Bauteilanzahl.	748									X											
Zusammenfassen von Teilen durch Integral- und Verbundbauweise.	429									X											
Wähle bei angemessener Stückzahl eine integrale Bauweise (v.a. Ur- und Umformverfahren), um die Teilezahl zu reduzieren.	643					X															

Abbildung 33: Überblick über Abhängigkeiten zwischen Konstruktionsregeln am Beispiel der Synergien

In der Datenbank sind mittlerweile mehr als 830 Konstruktionsregeln definiert. Damit ist eine ausreichende Basis geschaffen mit denen der Konstrukteur in der Praxis arbeiten kann. Für eine detaillierte Darstellung der Anwendungsfälle sei auf die Praxisbeispiele der Unternehmen und die verfügbare Software verwiesen.

### 3.1.1.4.2 Anwendung der entwickelten Produktgestaltungswerkzeuge in Produktentstehungsprozessen

Die Anwendung der entwickelten Werkzeuge erfolgt in den einzelnen Phasen des Produktentstehungsprozesses aber auch innerhalb der Produktionsphase des Lebenszyklus.

Die Anwendung der Methode zur Modularisierung erfolgt bereits in der Konzeptphase des jeweiligen Produkts. Da durch die Methodik die grundlegende Produktstruktur festgelegt wird, legt sie den Rahmen für alle weiteren Gestaltungselemente des Produkts fest. Des Weiteren benötigt sie die Funktionsanforderungen an das Produkt, wie sie beispielsweise durch die Anwendung von QFD im Vorfeld ermittelt werden können.

Um zu definieren, welcher Knoten im Netzwerk welche Aufgaben übernehmen kann, wird bereits nach der Festlegung der Produktstruktur eine Analyse mit dem entwickelten Software-Prototyp durchgeführt. Mit seiner Hilfe wird zunächst ermittelt, wie die Varianten aufgrund der in der Modularisierung festgelegten Produktstruktur im Netzwerk abgebildet werden, also vor allem, wann die Varianten entstehen. In Verbindung mit der Analyse hinsichtlich des geplanten Standardumfangs und der möglichen Kits wird dann die Produktstruktur optimiert. Aufgrund der Nachfrage und der Kostenstruktur im Netzwerk wird zunächst festgelegt, was im Standardumfang enthalten ist, und was in den jeweiligen Kits verbaut wird. Die Bildung der Kits wird dann durch die Variantenanalyse im Netzwerk optimiert, um einen möglichst späten



Einstierungspunkt der Varianten zu erreichen. Als Ergebnis dieses Schrittes liegt dann eine erweiterte Produktstruktur vor, die zum einen aus Standardumfängen und zum anderen aus Varianten der zu bildenden Kits besteht. Die gesamte Produktstruktur ist somit durch die Variantenoptimierung auf das bestehende Netzwerk ausgerichtet.

Im Rahmen der Konkretisierung des Produkts und seiner einzelnen Module und Einzelkomponenten kommt die Access-Datenbank der Gestaltungsregeln zum Einsatz. Mit Ihnen werden sowohl Einzelteile als auch Komponenten auf die jeweils für das Bauteil oder Unternehmen relevante Zielgrößen optimiert.

Eine Übersicht der jeweiligen Anwendung der Instrumente im Produktentstehungsprozess ist in folgender Abbildung dargestellt.

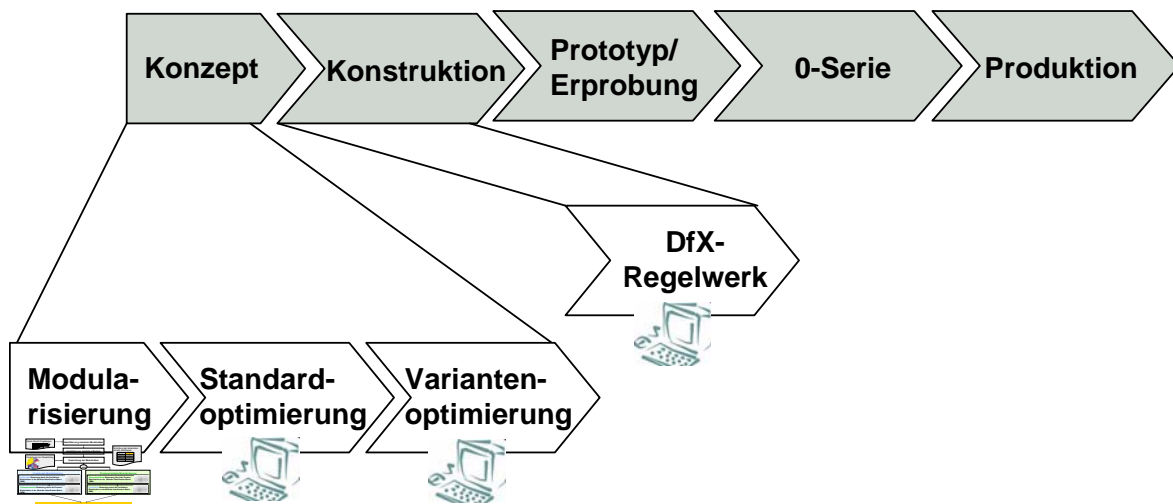


Abbildung 34: Anwendung der entwickelten Werkzeuge im Produktentstehungsprozess

Die vorgestellten Optimierungswerkzeuge können aber auch in den späteren Phasen des Lebenszyklus eingesetzt werden. Dies erscheint insbesondere deshalb sinnvoll, weil sich die Rahmenbedingungen im Netzwerk aber auch für das einzelne Unternehmen immer wieder verändern. Eine erneute Optimierung des Standardumfangs kann beispielsweise durch eine Veränderung der Kundenwünsche erforderlich sein. Dies führt dann auch dazu, dass die Variantenentstehungspunkte im Netzwerk erneut überarbeitet werden müssen.

Ebenso kann eine Veränderung der eingesetzten Technologien oder der verfügbaren Lieferanten eine Überarbeitung der Produktstruktur bis hin zu einzelnen Komponenten notwendig machen. Auch hier kann mit den entwickelten Werkzeugen das gesamte Spektrum vom einzelnen Produktelement bis zum gesamten Netzwerk überarbeitet werden.

Für die Baumaschinenindustrie mit ihren stark kundenspezifischen Produkten, für deren Erstellung oftmals kundenspezifische Konstruktionen notwendig sind, können die Werkzeuge sogar bei einzelnen Kundenaufträgen eingesetzt werden. Auch hier gilt, sowohl das einzelne Produktelement als auch die Komponenten im Netzwerk können mit Hilfe der Werkzeuge optimiert werden, um das für den jeweiligen Kundenauftrag optimale Ergebnis zu erreichen. Um den Aufwand für diese Optimierung bei einzelnen Kundenaufträgen zu reduzieren, sollte zuvor abhängig vom kundenspezifischen Umfang eine Kosten-Nutzen-Abwägung erfolgen. Darauf basierend kann entschieden werden, auf welcher Ebene eine Optimierung durchgeführt werden soll.

### **3.1.2 Realisierte Referenzanwendungen bei den Projektpartnern**

#### **3.1.2.1 Umsetzung bei der *Putzmeister Concrete Pumps GmbH***

Ausgangssituation: Die *Putzmeister* Fahrmischerbetonpumpen der Modell-Reihe PUMI® sind äußerst kompakt konstruierte, hoch komplexe Baumaschinen, die in einer Vielzahl von Modell- und Ausstattungsvarianten angeboten werden.

Die kundenauftragsspezifische Herstellung eines PUMI® im klassischen Dockverfahren war aufwändig, zeitintensiv und dadurch insgesamt zu teuer in den Arbeitskosten. Insbesondere bei Stückzahlerhöhung machen sich ungünstige Montagebedingungen und – Abläufe immer stärker bemerkbar. Um den Prozess zu verändern und zu optimieren waren daher tief greifende Änderungen notwendig, die bei den Konstruktionsmaßnahmen und der Produktgestaltung begannen.

Für die Optimierung wurden folgende Teilaufgaben identifiziert und umgesetzt:

- Differenzieren und Unterteilung der Aufträge unterschiedlicher Bearbeitungstiefe nach Auftragsstypen
- Darstellung der Prozessabläufe der Auftragsstypen
- Ableitung von Aufwandsvarianten und Optimierungspotentialen
- Analyse und Optimierung der Schnittstellen zu Zulieferern
- Stärkere Modularisierung der Gesamtmaschine
- Mechanische Anbindung von Bauteilvarianten und Zubehör so gestalten, dass die Montage mit möglichst geringem Aufwand erfolgen kann

- Überarbeitung der Stücklisten zur Ablaufoptimierung, effektiveren Arbeitsvorbereitung und Materialbereitstellung
- Konstruktive Zusammenführung von Baugruppen, die als Vormontagebaugruppen umgesetzt werden
- Einführung von Produktkonfigurationssystemen für Fahrgestellvarianten und zur Auftragsklärung
- Engere Verzahnung der Daten von Technik und Vertrieb zur Verbesserung der Datenkonsistenz und zur Reduzierung des Bearbeitungsaufwandes. Hiermit Verringerung von Fehlern bei der Produktkonfiguration
- Konstruktive Überarbeitung bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Aspekten der Montage, des Gewichtes und des Designs
- Vereinfachung des Anbaus von Peripheriebauteilen durch Umkonstruktion bzw. Schaffung neuer mechanischer Schnittstellen
- Integration von weiteren Funktionen zur Erhöhung des Kundennutzens

Diese Maßnahmen trugen dazu bei, den Prozess grundlegend zu verändern und zu optimieren.

Als Demonstratoren (siehe Abbildung 35) wurden zwei unterschiedlicher Auftragstypen eines Fahrzeuges mit Betonpumpe und Mischer, genannt PUMI<sup>®</sup>, über den neuen Prozess abgewickelt. Hierbei wurden die erarbeiteten Kriterien umgesetzt.



Abbildung 35: Modell eines Demonstrators PUMI<sup>®</sup> (Pumpe mit Mischer) der PCP GmbH

Eine erweiterte Modularisierung wurde entsprechend folgender Baugruppen durchgeführt, wobei die Hauptmodule auch in Abbildung 36 dargestellt sind:

- Fahrgestell
- Mischertrommelaufbau
- Betonpumpensystem
- Hydraulischer Antrieb
- Steuerungstechnik
- Verteilermast und Abstützung
- Förderleitung
- Zubehör

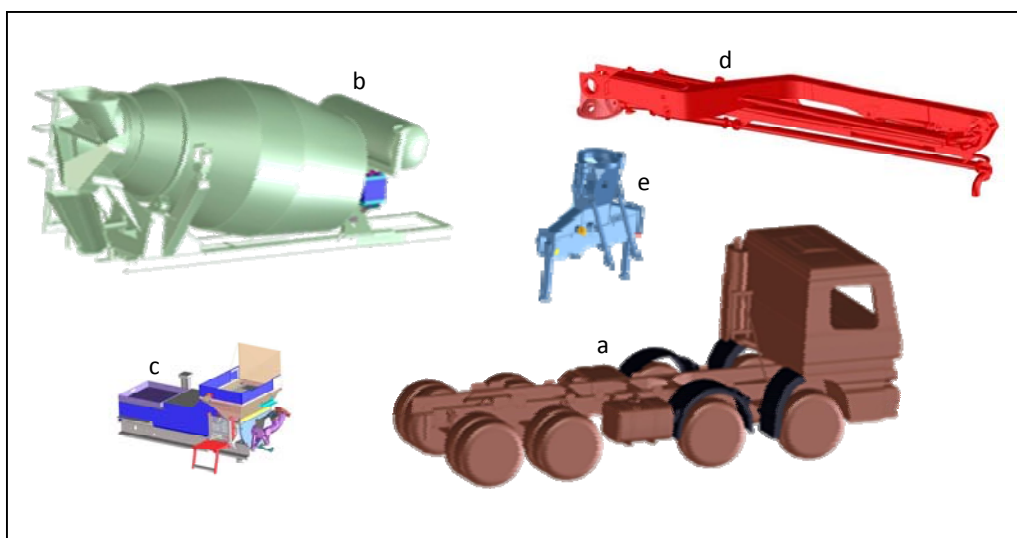


Abbildung 36: Hauptmodule der PUMI® : a) Fahrgestell, b) Mischertrommel, c) Betonpumpe, d) Verteilermast mit Förderleitung und e) Abstützung

Ausgehend von einem neuen funktionaleren Design wurde vor allem der Seitenbereich und das Heck der Maschine neu gestaltet. Dabei flossen montageoptimierte Baugruppen ein, die fertigungstechnisch mit anderen Maschinentypen in Einklang gebracht wurden. Die Verwendung von Gleichteilen führte unter anderem zu einer Reduktion des Gesamtaufwands.

Durch Einführung von Kunststoffabdeckungen und Aluminiumprofilen wurden Teile der Montage im Prozess nach hinten verlagert, welches neben einem Zeitvorteil auch Einsparungen im Gewicht zum Erfolg hatte.

### 3.1.2.2 Umsetzung bei der *Liebherr Mischtechnik GmbH*

#### 3.1.2.2.1 Produktbenchmark

Zur Identifizierung von Verbesserungspotentialen der Produktgestaltung

wurde für das ausgewählte Produkt ein Produktbenchmark durchgeführt. Hierzu wurden zunächst mögliche Wettbewerbsprodukte ermittelt und hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit bewertet. Wesentliche Kriterien hierbei waren:

- Ähnliche Kundenanforderungen
- Deutlicher Kostenunterschied ersichtlich, Qualitätsunterschiede nicht zu groß
- Hersteller, der Fahrmischer mit vergleichbaren Ausstattungsmerkmalen (z.B. ähnliche Trommelinhaltmenge z.B. 7m<sup>3</sup> oder 9m<sup>3</sup>, vergleichbares Fahrgestell) und in größeren Stückzahlen ähnlich wie *Liebherr* anbietet
- Verfügbarkeit des Konkurrenzproduktes
- Verfügbarkeit von Daten über Herstellkosten des als Vergleichsbasis dienenden *Liebherr*-Produktes

Das auf Basis dieser Kriterien ausgewählte Produkt wurde in fünf Schritten analysiert:

1. Vergleich der eingesetzten technischen Funktionsprinzipien
2. Vergleich der Gestaltung bei gleichen / ähnlichen Funktionsprinzipien
3. Analyse von Kosten und Zeiten für die Montage und Teilefertigung
4. Ermittlung des Gesamtergebnisses
5. Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Produktgestaltung

Der Vergleich wurde für die ausgewählten A-Teile des Fahrmischers durchgeführt. Folgende Abbildung verdeutlicht die untersuchten Komponenten.

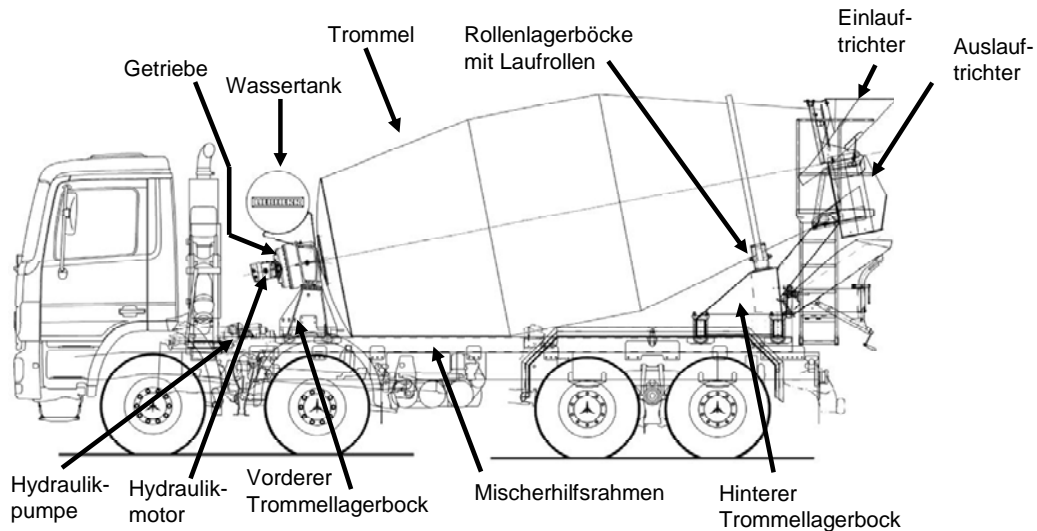


Abbildung 37: Untersuchte Stellen und Bauteile im Konstruktionsbenchmark

Als Ergebnis des Vergleichs wurden folgende Punkte ermittelt:

- Die Struktur der Produkte ist sehr ähnlich
- Die Produkte unterscheiden sich nur geringfügig durch Zusatzfunktionen, hierzu werden jedoch meist keine zusätzlichen Baugruppen eingesetzt
- Es handelt sich um ausgereifte Produkte (lange Lebenszyklen, heute eher geringe F&E-Intensität), die v. a. in Bezug auf den minimalen Materialeinsatz (wesentlicher Kostentreiber) optimiert sind
- Alternative Lösungen weisen meist keine bedeutenden Nachteile auf, sie sind an die Anforderungen der jeweiligen Prozesse angepasst.
- Die Varianten sind meist vom Standard abgeleitet
- Unterschiede sind teilweise an den Schnittstellen der Baugruppen zu erkennen (v. a. in der Wahl der Fügeverfahren)

Was die Produktionsstrategie der verglichenen Produkte betrifft, so unterschieden sie sich vor allem was die kundenspezifische Gestaltung betraf. Während *Liebherr* jeden Fahrmischer kundenspezifisch fertigt, wurde das Konkurrenzprodukt zunächst als Standardvariante produziert, bevor es an die jeweiligen Anforderungen des Kunden angepasst wurde.

Aufgrund der geringen Unterschiede ergab sich die Forderung nach einer systematischen Vorgehensweise zur Identifizierung von Engpässen am Produkt. Da sich allein über eine andere Gestaltung nur geringe Wettbewerbsvorteile ergeben,

ist die kontinuierliche Verbesserung des Produkts die einzige Möglichkeit, Vorteile zu bewahren oder sogar weiter auszubauen.

#### 3.1.2.2.2 Optimierung des Pumpenträgers

Das unter Kapitel 3.1.1.2 vorgestellte Regelwerk zur Produktoptimierung wurde am Beispiel des Pumpenträgers bei *Liebherr* Mischtechnik angewendet. Im Mittelpunkt der Anwendung stand die Standardisierung und damit die Reduzierung der Variantenzahl dieser Komponente. Des Weiteren wurde vor allem auf eine logistikkonforme Konstruktion geachtet, um weitere Kostenvorteile zu erreichen.

Im Ergebnis reduzierte sich die Anzahl an Varianten um 65%, was zu einer entsprechenden Vereinfachung in der Produktion führte. Da der Materialwert der neuen Komponente höher ausfiel, ergaben sich allerdings höhere Bestandskosten. Da aber die Anzahl der Teile pro Behälter durch die neue Gestaltung erhöht werden konnte und damit der Logistikaufwand sank, ergab sich insgesamt eine Reduzierung Kosten.

#### 3.1.2.3 Optimierung der Produktgestaltung bei *ZF Passau* am Beispiel des Mischergetriebe

Die Gestaltung des Produktes kann wesentlich dazu beitragen, dass Prozessschritte beim Kunden reduziert werden oder gänzlich entfallen können. Und die Produktgestaltung beim Lieferanten kann dazu beitragen, die Variantenzahl weiterer Komponenten beim Hersteller zu reduzieren.

Bei der Entwicklung des Mischergetriebes *Ecomix II* der *ZF Passau GmbH* wurde diesen Belangen großer Stellenwert beigemessen:

- Ein größerer erlaubter Trommelbodenplanschlag ermöglicht wegen niedrigerer Toleranzanforderung eine kostengünstigere Trommelbearbeitung.
- Die tolerierte Abweichung des Einbauwinkels wurde verdoppelt und vereinfacht damit den Getriebe-Einbau. Zudem kann dadurch die Anzahl der Lagerbockvarianten reduziert werden.
- Ein kleineres und leichteres Getriebe vereinfacht das Handling des Getriebes in der Montage.
- Für den Transport des Getriebes sind keine Transportsicherungen notwendig, die vor dem Montageprozess erst umständlich verändert werden müssten.

- Die verbesserte Zugänglichkeit der Sockel- und Wassertankverschraubung beschleunigt die Montage.
- Die separate Kühleranordnung und der Entfall einer aufwändigen Abdeckung der Abtriebsdichtung vereinfacht die Grundierung / Lackierung.
- Der Öltank in Kunststoff-Ausführung ermöglicht ein deutlich geringeres Gewicht.



Abbildung 38: Die Konstruktion des neuen ECOMIX2-Getriebe

#### 3.1.2.4 Neugestaltung der Konstruktion und Konfiguration bei Caleg

Als einer der führenden deutschen Anbieter für die Konstruktion und Fertigung von kundenindividuellen Gehäuselösungen aus Blech sieht sich die *caleg Gehäusebau GmbH* aus Calau/Brandenburg mit einem immer härter werdenden Wettbewerb aus dem In- und Ausland konfrontiert.

Neben dem Preis treten dabei verstärkt andere Wettbewerbsfaktoren in den Vordergrund:

- stetig wachsende Teile- und Variantenvielfalt,
- komplexere und kundenindividuellere Bauweisen,
- Forderung nach immer kürzeren Fertigungs- und Entwicklungszeiten



Diesen Tendenzen kann nur durch ständige Kostenoptimierungen im Fertigungs- und Entwicklungsbereich begegnet werden. Dies umso mehr, da gerade im Konstruktions- und Entwicklungsbereich mittlerweile ein Fachkräftemangel herrscht.

Aus diesem Grund ist eine Hauptforderung für eine erfolgreiche Zukunft, dass sich die Mitarbeiter in diesen Bereichen durch Prozessoptimierungen und Arbeitserleichterungen auf ihr eigentliches „Handwerk“ konzentrieren können und von nicht wertschöpfenden Nebenzeiten „erlöst“ werden.

Die *caleg GmbH* sah einen Lösungsansatz für diese Problematik in der Entwicklung und Programmierung eines sogenannten „Produktkonfigurators“. Bei der Definition des entsprechenden Pflichtenheftes wurden die folgenden Hauptforderungen festgelegt:

1. Internet bzw. web-basiertes System
  1. einfache, intuitive Handhabung
  2. möglichst viele Freiheitsgrade, d.h. hohe konstruktive Gestaltungsmöglichkeiten
  3. gleichzeitige Anwendung von „Teilebibliotheken“ zur Reduzierung der Vielfalt
  4. Automatische Zeichnungsgenerierung
  5. Automatische Erstellung einer Stückliste im ERP-System
  6. Automatische Ermittlung der Herstellkosten

Diese Komplexität der Aufgabe und die Vielzahl von Vorstellungen, Wünschen und Forderungen sprengte den Rahmen der Möglichkeiten eines mittelständischen Unternehmens, wie der *caleg GmbH* und erst durch die Teilnahme an dem BAU-MO 2008-Projekt und die damit verbundene Unterstützung konnte die Aufgabe in Angriff genommen werden.

Da man sich an der Vorgehensweise im BAU-MO 2008-Projekt orientierte, stand zunächst die IST-Analyse der Produkte, Prozesse und Beziehungen zu Kunden und Lieferanten im Mittelpunkt der Betrachtung.

Nachdem dieser Punkt abgeschlossen war, ging es darum, den SOLL-Zustand zu definieren. Hierbei wurde sich an das bereits erwähnte Pflichtenheft angelehnt. Daraufhin begann die längste und wichtigste Prozessstufe, die Entwicklung und Programmierung der Software.

Das Resultat dieses Prozesses ist der *caleg*-Konfigurator, dessen Funktionsweise im Folgenden anhand einer Beispielkonstruktion erläutert werden soll:

### 3.1.2.4.1 Funktionsbeschreibung des Konfigurators

Der Produktkonfigurator ermöglicht ein schnelles und unkompliziertes Erstellen von standardisierten Schränken. Vorwiegend vom Kunden im Internet eingesetzt, erstellt er sämtliche Fertigungsunterlagen und übernimmt die benötigte Preiskalkulation.

Auf den übersichtlich gestalteten Auswahlseiten wird zunächst die gewünschte Gehäuseart ausgewählt.

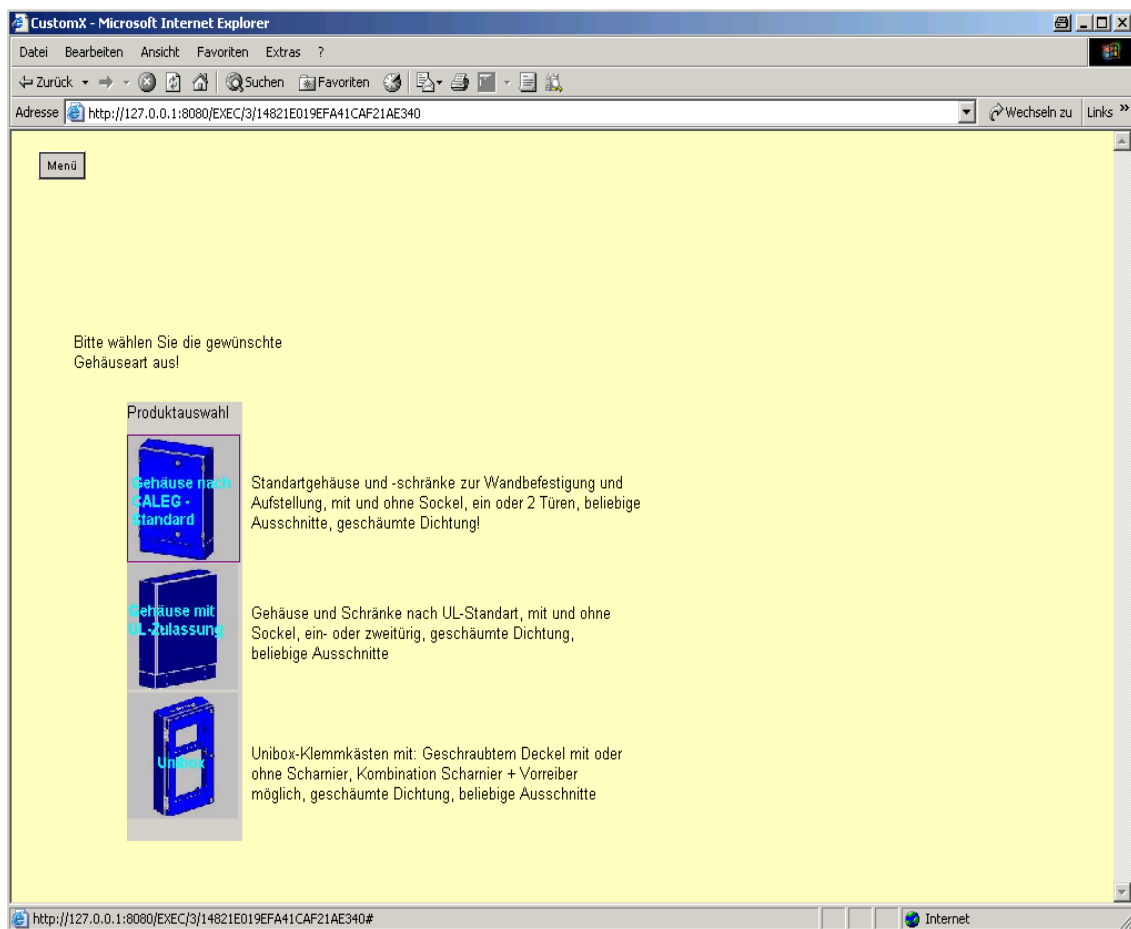


Abbildung 39: Auswahl der Gehäuseart im caleg-Konfigurator

Für die jeweilige repräsentative Produktgruppe wurden bestimmte Gestaltungsregeln festgelegt. Darunter versteht man Außenabmaße, Material, Farbe und optionale Teile wie Sockel und Montageplatten. Ebenfalls können Losgrößen und ggf. ein Jahresbedarf angegeben werden. In einer verbalen Beschreibung wird dem User seine Auswahl nochmals aufgezeigt.

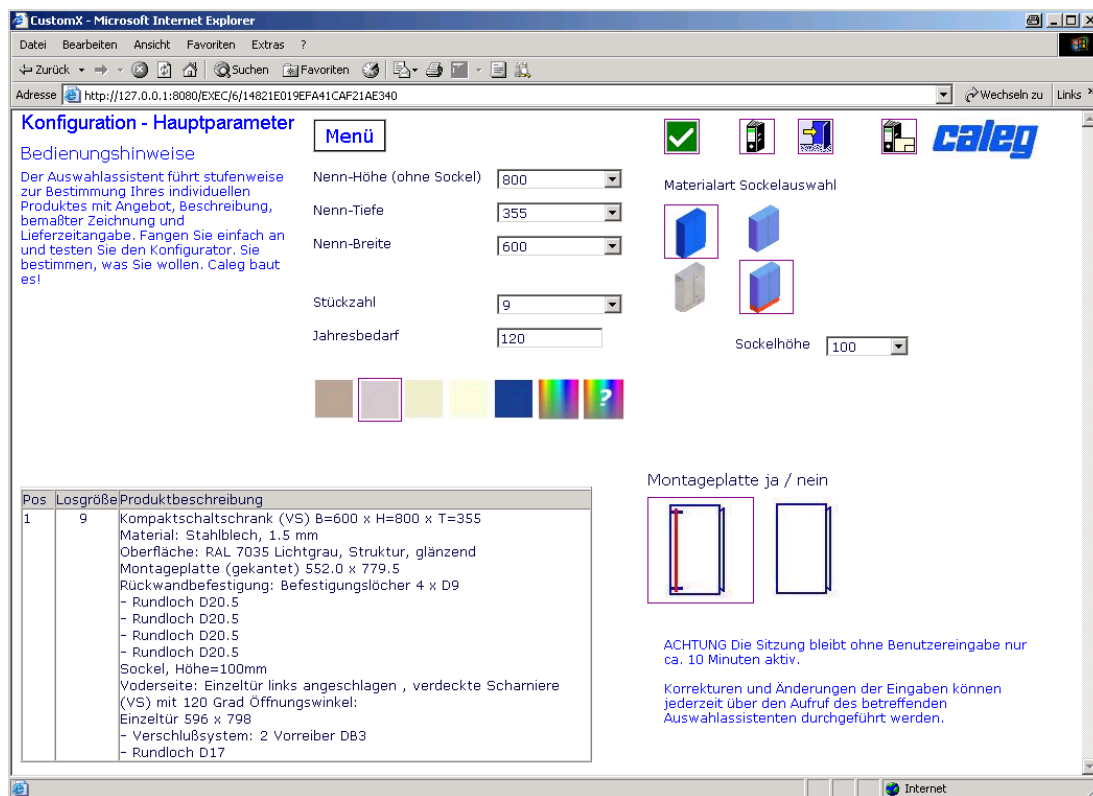


Abbildung 40: Auswahl von Gestaltungsregeln im caleg-Konfigurator

In weiteren Auswahlritten werden Türen, Scharniere, Türversteifungen, Schließung und Schließsystem festgelegt.

Ist der Schrank in seiner Grundkonstruktion fertig, werden Ausstattungen hinzugefügt. Dabei können Bohrungen, Bolzen, Kiemen und Gewinde in Seitenwände, Boden, Dach, Tür und Montageplatte eingebracht werden.

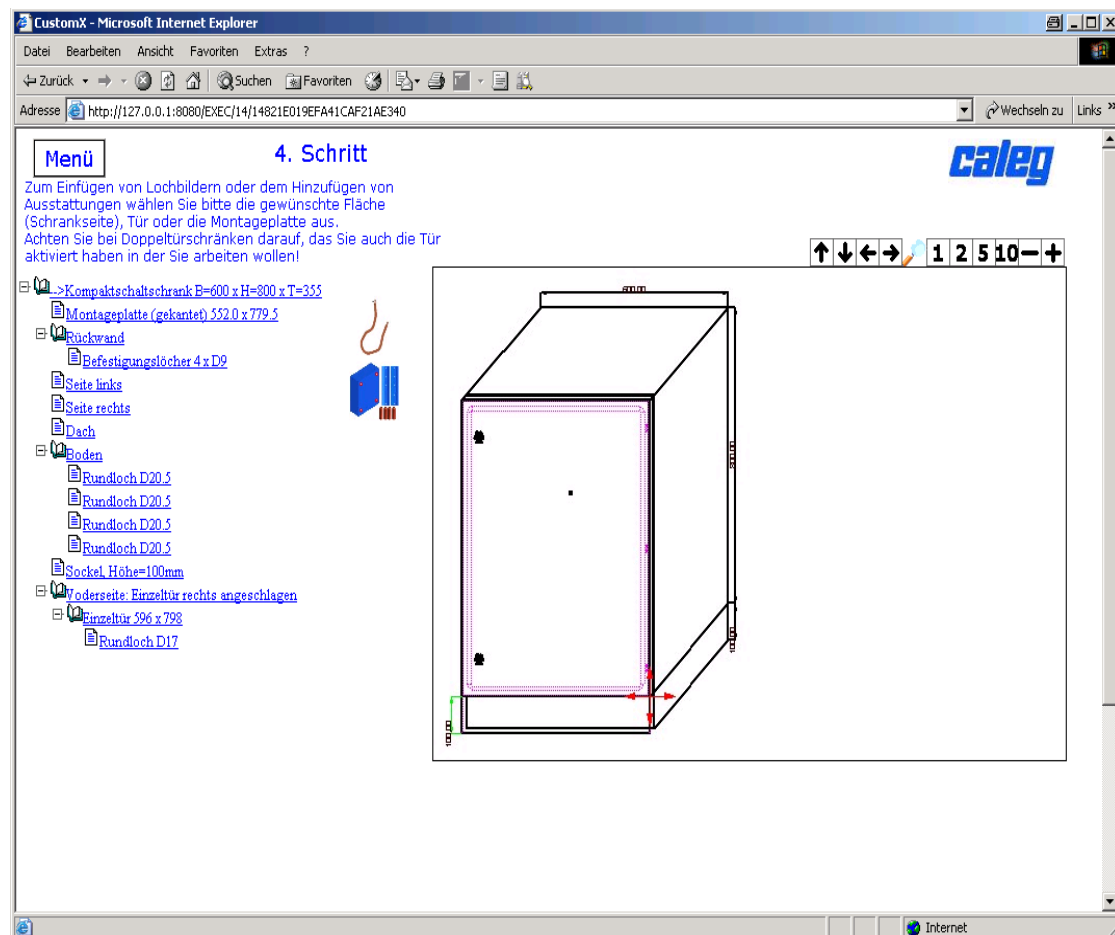


Abbildung 41: Hinzufügen von Ausstattungen im caleg-Konfigurator

Nach Fertigstellung des Schrankes generiert der Konfigurator ein Angebot, welches je nach Kundenstatus direkt einsehbar ist oder vom Vertrieb versendet wird. Herstellkosten und Preisbildung sind ebenfalls nur für bestimmte Zugänge sichtbar.

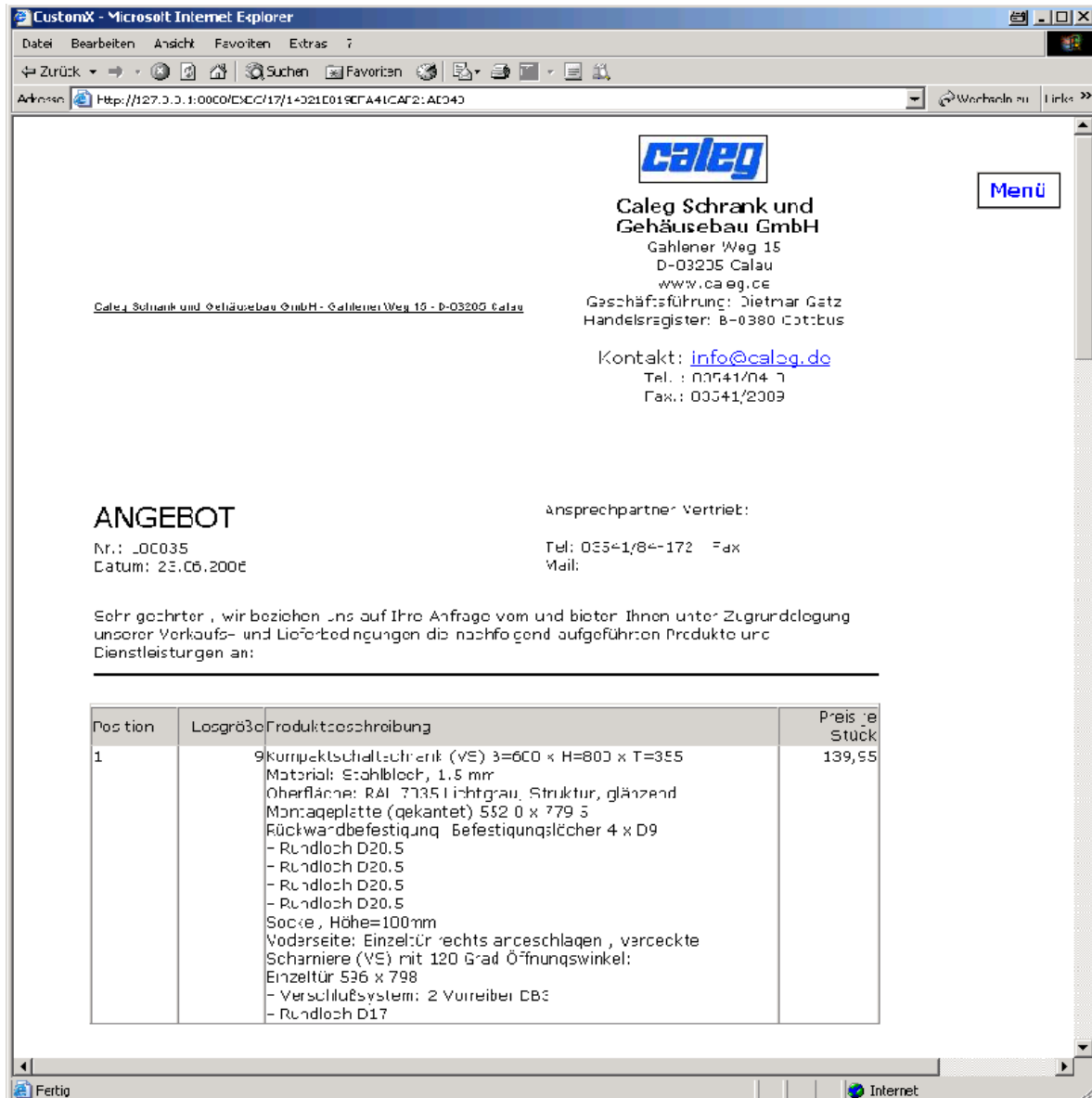


Abbildung 42: Erstelltes Angebot im caleg-Konfigurator

Während der Schrankkonfiguration werden im Hintergrund Fertigungszeichnungen für den firmeninternen Gebrauch erstellt und die Zuschnitte in einer separaten Datei für die CNC-Programmierung abgelegt. Dabei arbeitet der Konfigurator mit AutoCAD® und Inventor®. Alle Ansichten und Zuschnitte mussten im Vorherein in einzelnen Zeichnungen definiert und im caleg-Konfigurator hinterlegt werden. In der „Muttermuttervariante“ hinterlegte Variablen werden durch Kundeneingaben sowie deren Verarbeitung definiert.

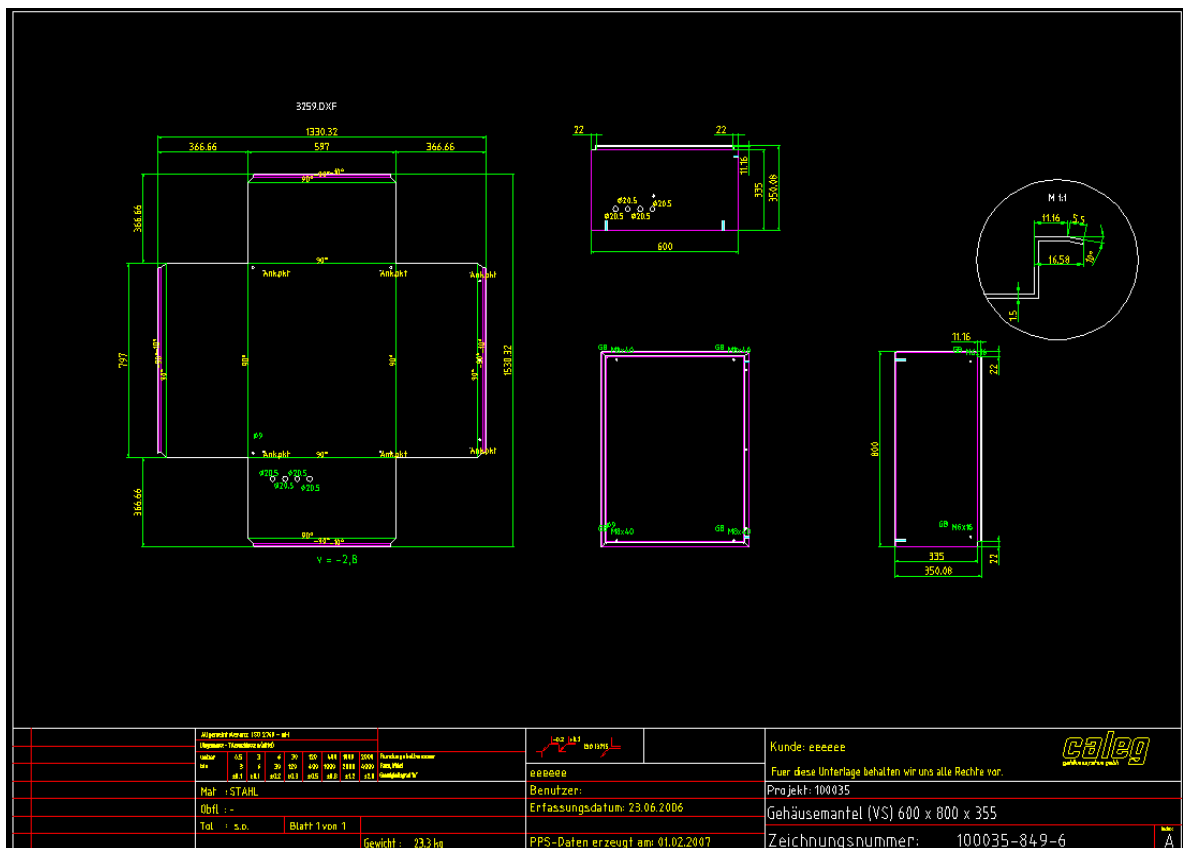
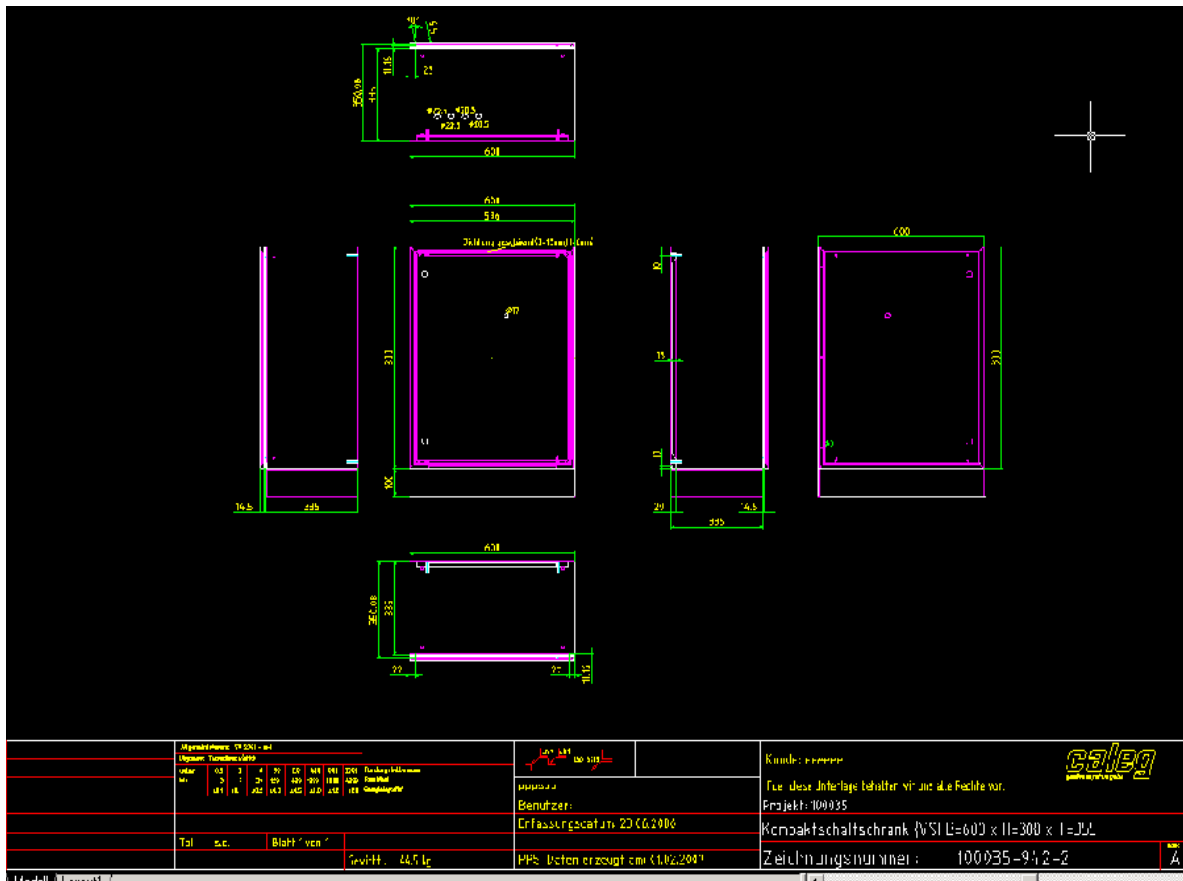


Abbildung 43: CAD-Zeichnungen des caleg-Konfigurators

Zusätzlich zu den Zeichnungen werden Stücklisten und Arbeitspläne erstellt und in ein ERP-System überführt.

Abbildung 44: Erstellte Stückliste im caleg-Konfigurator

### 3.1.2.4.2 Vorteile beim Einsatz

Die Durchlaufzeit bei caleg wird bei Neuteilen und Modifikationen um 5 – 10 Arbeitstage verkürzt, da die Anforderungen an das Gehäuse durch den Kunden selbst geklärt werden und die Fertigungsunterlagen nicht zusätzlich erstellt werden müssen.

Fehler bei der Datenübermittlung von Einkäufern über den Vertrieb zur Projektierung werden vermieden.

Es wird ein einheitliches Konstruktionsprinzip bei allen Schränken angewandt und es gelingt, ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit und Einheitlichkeit zu schaffen.

Der Kunde benötigt keinerlei Fachwissen über die Fertigungsmöglichkeiten der *caleg GmbH*, da alle nicht möglichen Eventualitäten von vorn herein ausgeschlossen und dem Kunden nicht angeboten werden.

### 3.1.2.5 Produkt- und Prozessoptimierung bei der *Ströbele GmbH*

#### 3.1.2.5.1 Umsetzung der Modularen Steuerungseinheit

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner *Putzmeister Concrete Pumps* wurde eine Detaillierung der benötigten Steuerungskomponenten vorgenommen.

Hierbei wurde in Kooperation mit *Putzmeister* ein neuer, modular aufgebauter, Steuerschrank entwickelt. Als Ergebnis dieser Arbeiten konnten bei *Putzmeister* die Elektrokonstruktionsarbeiten der Grundmodule abgeschlossen werden.

Anhand dieser Grundmodule wurde bei *Ströbele* ein modulares Fertigungsmodell erarbeitet. Basis des Fertigungsmodells ist eine offene „Produktmatrix Schaltschrank Pumi“. Diese Produktmatrix ermöglicht es den Kunden (*Putzmeister*) ein standardisiertes und gleichzeitig individuell endkundenspezifisches Produkt zu beziehen.

Das vorhandene PPS-System ist für die kaufmännischen und fertigungstechnischen Prozesse an die Produktmatrix angepasst worden. Die Produktmatrix wurde mit den aktuellen Daten der Grundmodule gefüllt und steht den Anwendern in Vertrieb und Fertigung zur Verfügung.

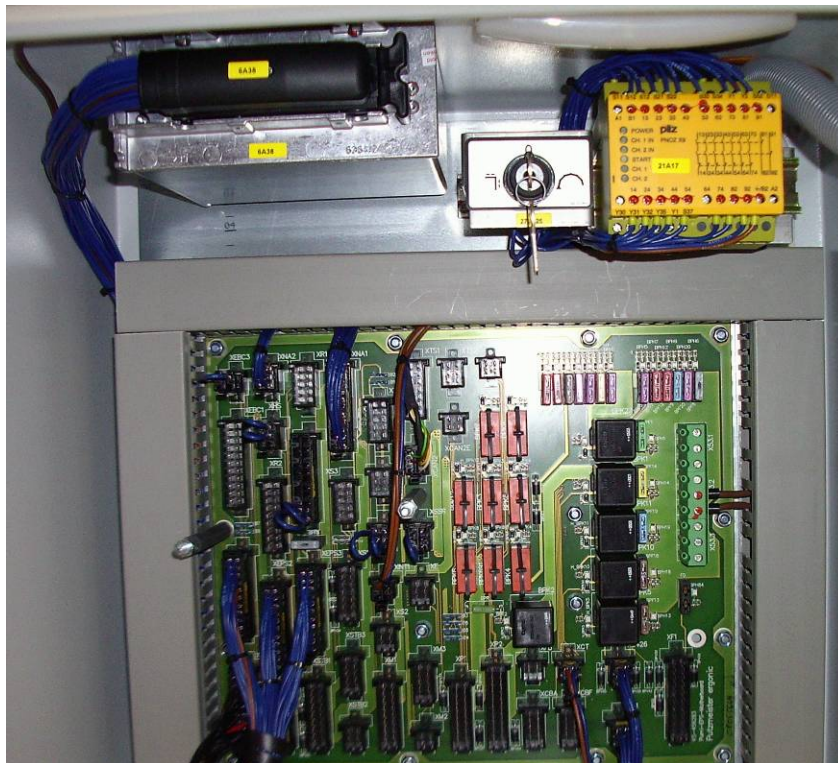
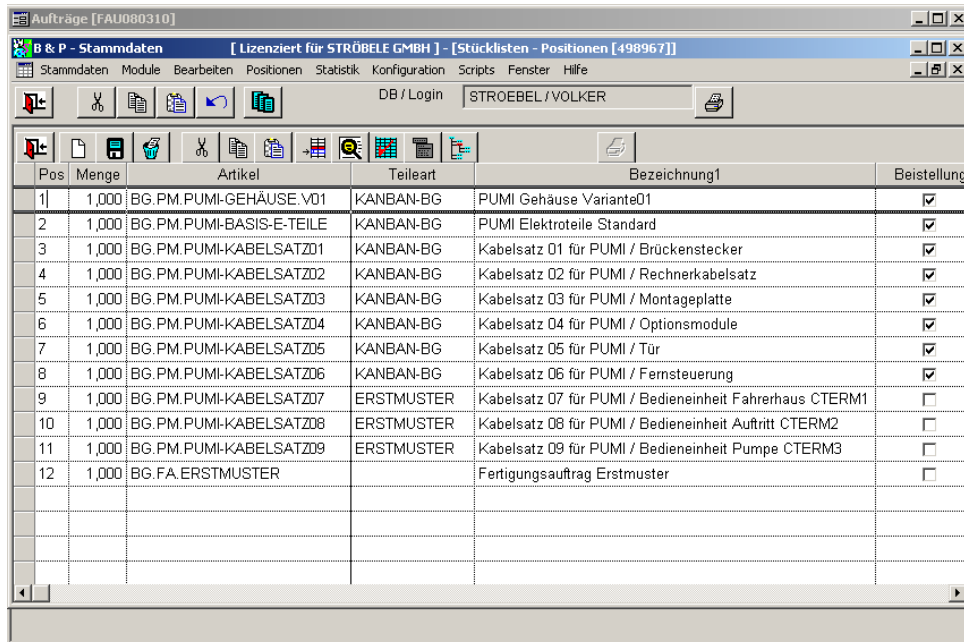


Abbildung 45: Steuerschrank PUMI für *Putzmeister Concrete Pumps GmbH*

#### 3.1.2.5.2 Umsetzung der Modulbauweise in der IT-Umgebung



Die Arbeitsprozesse innerhalb des Unternehmens wurden neu definiert und auf die Erfordernisse des Produktionsnetzwerkes angepasst. Das Konzept einer modularen Komponentenfertigung im Schaltschrankbau wurde vollständig umgesetzt. Als erster Synergieeffekt der Arbeiten am Projekt konnte dieses Konzept auch auf andere Produktlinien angewendet werden.



Pos	Menge	Artikel	Teileart	Bezeichnung1	Beistellung
1		BG.PM.PUMI-GEHÄUSE.V01	KANBAN-BG	PUMI Gehäuse Variante01	<input checked="" type="checkbox"/>
2	1,000	BG.PM.PUMI-BASIS-E-TEILE	KANBAN-BG	PUMI Elektroteile Standard	<input checked="" type="checkbox"/>
3	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ01	KANBAN-BG	Kabelsatz 01 für PUMI / Brückenstecker	<input checked="" type="checkbox"/>
4	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ02	KANBAN-BG	Kabelsatz 02 für PUMI / Rechnerkabelsatz	<input checked="" type="checkbox"/>
5	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ03	KANBAN-BG	Kabelsatz 03 für PUMI / Montageplatte	<input checked="" type="checkbox"/>
6	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ04	KANBAN-BG	Kabelsatz 04 für PUMI / Optionsmodule	<input checked="" type="checkbox"/>
7	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ05	KANBAN-BG	Kabelsatz 05 für PUMI / Tür	<input checked="" type="checkbox"/>
8	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ06	KANBAN-BG	Kabelsatz 06 für PUMI / Fernsteuerung	<input checked="" type="checkbox"/>
9	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ07	ERSTMUSTER	Kabelsatz 07 für PUMI / Bedieneinheit Fahrerhaus CTERM1	<input type="checkbox"/>
10	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ08	ERSTMUSTER	Kabelsatz 08 für PUMI / Bedieneinheit Auftritt CTERM2	<input type="checkbox"/>
11	1,000	BG.PM.PUMI-KABELSATZ09	ERSTMUSTER	Kabelsatz 09 für PUMI / Bedieneinheit Pumpe CTERM3	<input type="checkbox"/>
12	1,000	BG.FA.ERSTMUSTER		Fertigungsauftrag Erstmuster	<input type="checkbox"/>

Abbildung 46: Abbildung der Modulbauweise in der IT - Umgebung

Die Modulbauweise ist komplett in der IT-Umgebung abgebildet und wird entsprechend gesteuert und verwaltet. Die Handhabung von Produktänderungen während des Fertigungsprozesses sind abschließend geklärt worden.

### 3.1.2.5.3 Einführung von Kanban in der Produktion

Die Produktionskapazitäten des Unternehmens entsprechen in allen Abteilungen den derzeitigen Anforderungen des Produktionsnetzwerkes. Es wurde entschieden die Fertigung der Kabelkonfektion und der mechanischen Abteilung umzustellen. Beide werden seit Mitte 2007 als Kanban-Quelle betrieben.

Zur Kapazitätsanpassung und -erweiterung wurde im Frühjahr 2007 eine größere Produktionshalle bezogen. Die Fertigungsbereiche Mechanik und Kabelkonfektion wurden entsprechend des Kanban-Konzeptes in den Produktionsprozess integriert. Es ergab sich eine wesentlich kürzere Durchlaufzeit der Aufträge und eine größere Flexibilität in der Auftragsbearbeitung.

Die Handhabung von Produktänderungen während des Fertigungsprozesses ist abschließend geklärt worden. Dabei wurde ein ereignisorientierter Workflow eingerichtet, welcher die Änderungsanforderungen in umfassender Weise behandelt.

### Standardisiertes Fertigungsmodell Schaltschrank

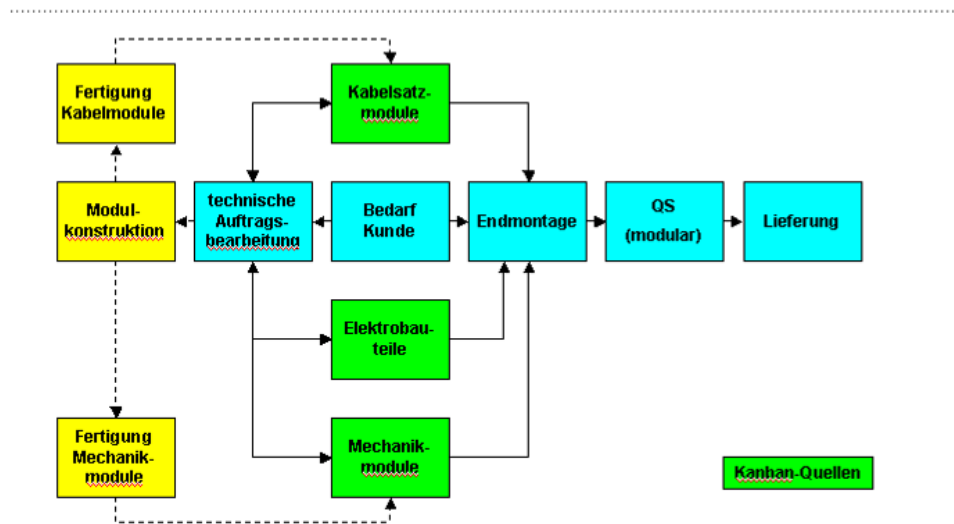


Abbildung 47: Fertigungsmodell mit Kanban-Quellen

#### 3.1.2.5.4 Umsetzung eines modularen Prüfsystems

Jede Steuerungseinheit, welche das Haus verlässt, wird mit PC-basierter Prüftechnik weitestgehend vollautomatisch geprüft. Der Prüfer hat lediglich die Aufgabe Sichtkontrollen bzw. Bedienfunktionen auszuführen. Dabei erfolgen alle Messungen vollautomatisch. Über ein Adapterpult werden hier mittels spezieller Kabelsätzen die Prüflinge adaptiert (siehe Abbildung 48). Das Herz der Prüfung stellt eine Software dar, mittels welcher die Prüflinge schrittweise und benutzergeführt getestet werden.

Stand vor Projektbeginn BAU-MO 2008 war die Verwendung spezieller Test-Algorithmen für jedes Produkt, die entsprechend neu entwickelt wurden. Ein hohes Maß an Software-Engineering war erforderlich. Das Prinzip bestand in einem Verbindungs- und Funktionstest aller Bauteile. Bei fixen Großserien war das Konzept problemlos, da entsprechende Vorlaufzeiten vorhanden und die Entwicklungszeit umgerechnet auf 1 Stück zu vernachlässigen waren. Bei Kleinserien und Sonderkonstruktionen war ein relativ hoher Aufwand zu betreiben, welcher sich entsprechend auf Durchlaufzeit und Stückpreis auswirkte.

Im Rahmen des BAU-MO 2008-Projekts ging es um die Weiterentwicklung des Prüfkonzepts. Dabei wurde die Idee verfolgt nicht den Prüfling als solchen für die Ent-

wicklung der Software heranzuziehen, sondern die Maschinenfunktionen in der Software nachzubilden und diese Funktionen modular zu zusammensetzen.

Aufgabenstellung war hier also alle Maschinenfunktionen in der Testsoftware abzubilden und diese logisch so zu unterteilen, dass jedes Modul separat geprüft werden kann. Der Prüfer wird dadurch in die Lage versetzt, diese Maschinenfunktionen in der Prüfsoftware anzuwählen, und kann somit ein individuelles Prüfprogramm aus dem Baukasten zusammensetzen. Bei Sonderkonstruktionen ist dann lediglich noch das entsprechende Prüfmodul zu schreiben und nicht mehr ein völlig neues Prüfprogramm. Die modulare Prüfsoftware (siehe Abbildung 49) hat sich mittlerweile im täglichen Einsatz bewährt und stellt einen wesentlichen Faktor zur Verkürzung der Durchlaufzeit dar.

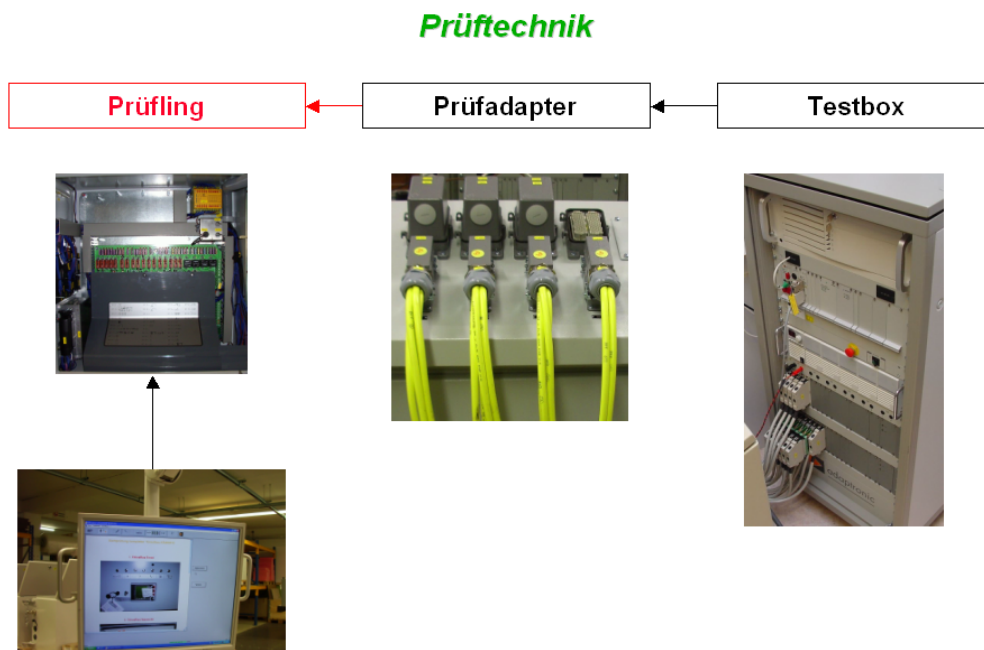
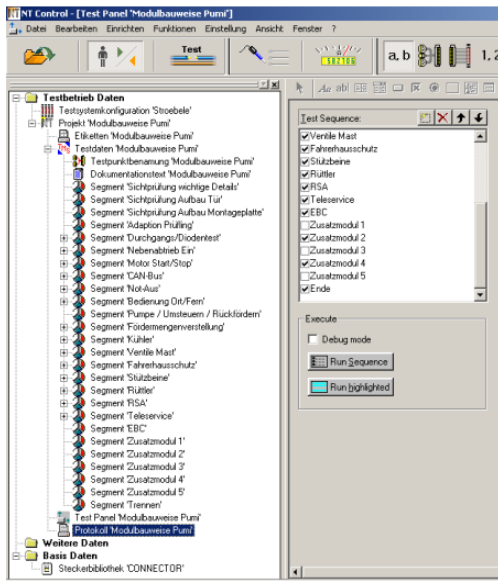


Abbildung 48: Modulare Prüftechnik

Software: Prüfung modular



Auszug Prüfschritt „Fahrehausschutz“

P	Spannungsmessung A	Von Testpunkt	Nach Testpunkt	Sollwert	Toleranz +	Toleranz -
P12	auf X10_3	X10_3	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_4	X10_4	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_5	X10_5	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_10	X10_10(2)	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X81_5	X81_5	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_15	X10_15(1)	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X27_1	X27_1	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_17	X10_17	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_20	X10_20	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %
P12	auf X10_22	X10_22	X10_Masse(1)	12,00 V	10,0 %	10,0 %

Abbildung 49: Modulare Prüfsoftware

## 3.2 Durchgängige Prozessgestaltung in der Auftragsabwicklung, Montage und in der Materialversorgung

### 3.2.1 Vorgehen beim Optimierung der Prozesskette

Im Folgenden wird das Vorgehen bei der Optimierung der Prozesskette beschrieben. Dazu werden Auftragsabwicklungsprozesse, Produktions- und Montageprozesse und Versorgungsstrukturen analysiert.

#### 3.2.1.1 Aufnahme und Bewertung der Auftragsabwicklungsprozesse

Bei der Aufnahme der Geschäftsprozesse wurde ein szenarien-basierter Ansatz verwendet. Dabei wurden je nach Standardisierungsgrad der Auftragspositionen unterschiedliche Auftragsstypen als Szenarien definiert und diese bei der Ermittlung des Prozessaufwandes sowie der Aufnahme der Durchlaufzeiten eingesetzt (siehe Abbildung 50).

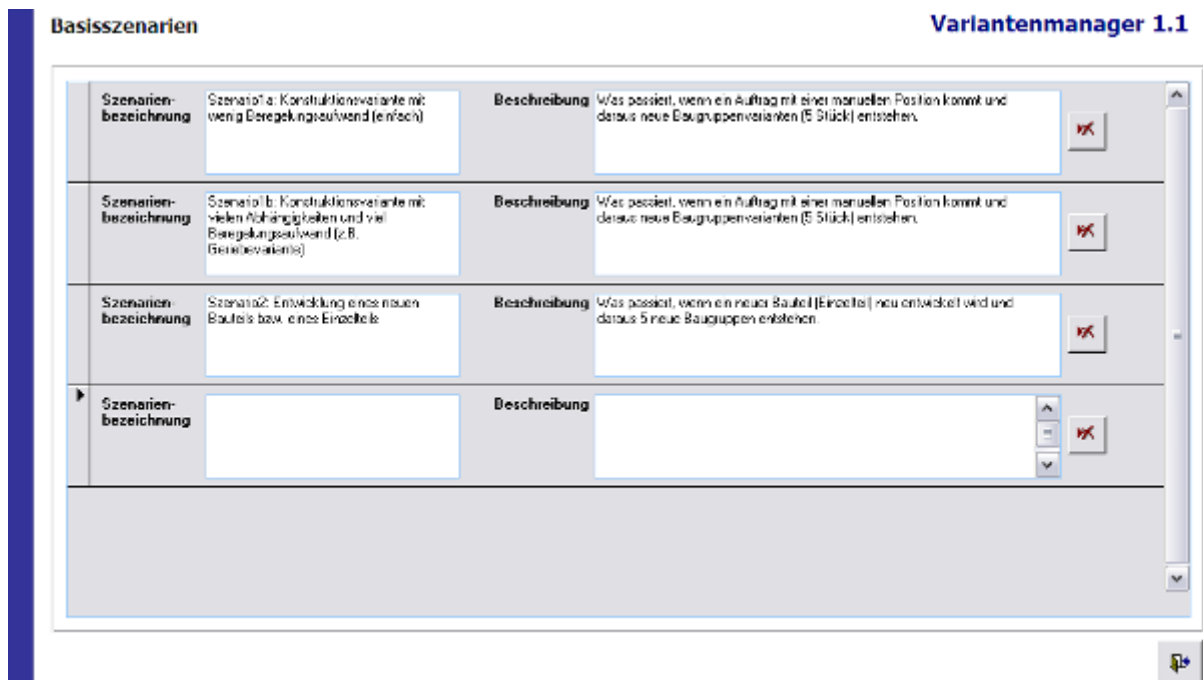


Abbildung 50: Szenarienbildung als Basis für die Prozessaufnahme

Diese Unterscheidung nach dem Standardisierungsgrad der Produkte ermöglicht eine genauere Ermittlung der Aufwandstreiber und zeigt gleichzeitig die Durchlaufzeitpotentiale, die bei den Produkten und Baugruppen erzielt werden können.

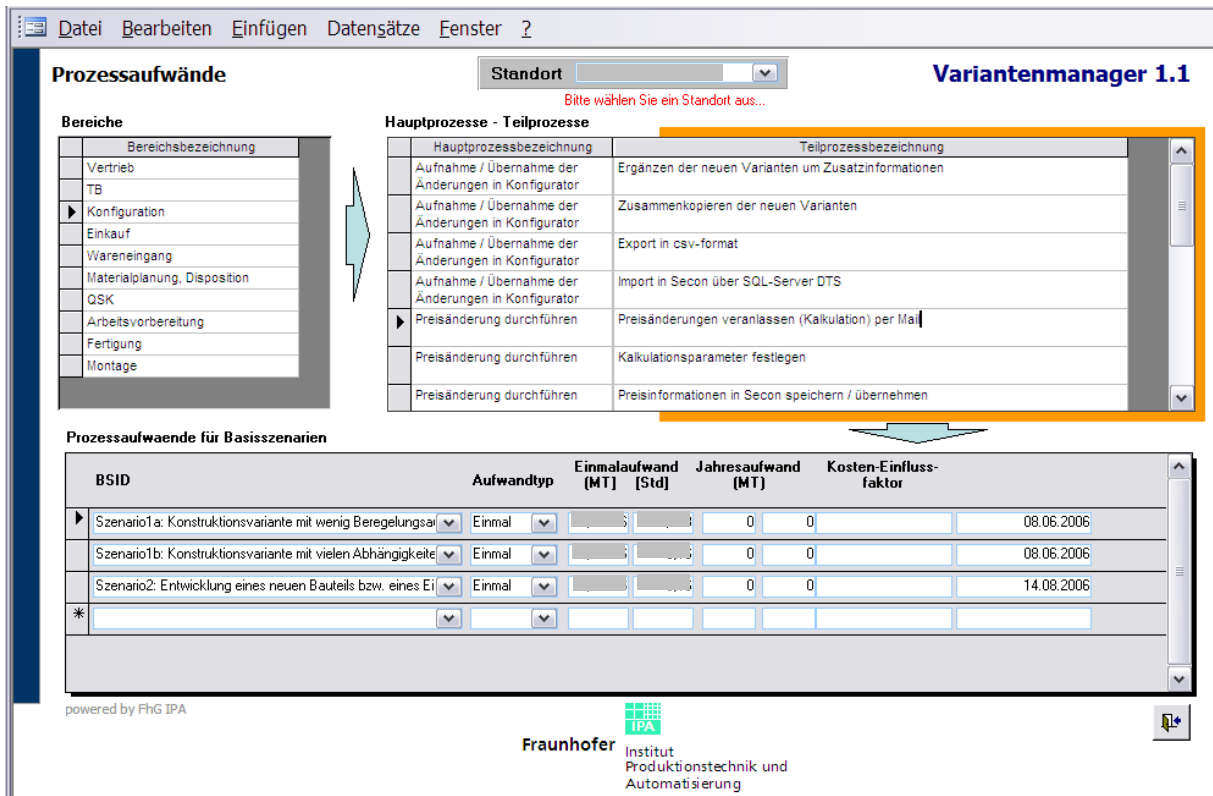


Abbildung 51: Prozessaufnahme und Aufwandsbewertung pro Szenario

Die Aufnahme der Prozesse erfolgt dabei pro Werk und Bereich und wird in die Prozesskategorien „Hauptprozesse“ und „Teilprozesse“ strukturiert (siehe Abbildung 51).

Ein Prozess kann dabei mehrfach für unterschiedliche Produkte bzw. Produktvarianten verwendet und je nach Komplexitäts- und Standardisierungsgrad des Produktes mit unterschiedlichen Prozessaufwänden versehen werden. (siehe Abbildung 51).

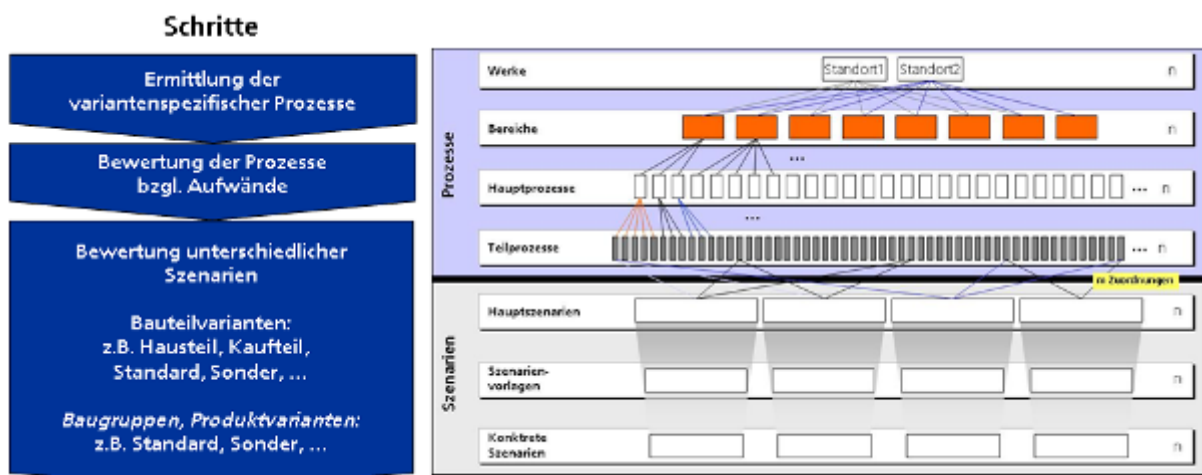


Abbildung 52: Kopplung der Prozesse mit den Szenarien

Die produktkategoriebezogene Aufnahme der Prozesse und Prozesszeiten erlaubt eine genaue Analyse und macht die Aufwandsunterschiede zwischen einem Stan-

Standardprodukt und Sonderprodukt deutlich. Die kapazitätsintensiven Prozesse können so schnell erkannt und bei den Optimierungsmaßnahmen stärker berücksichtigt werden.

### **3.2.1.2 Optimierung des Auftragsabwicklungsprozesses**

Lieferzeit und Termintreue sind zwei der wichtigsten Wettbewerbsfaktoren in der Baumaschinenindustrie. Oft gibt der Start eines bevorstehenden Bauvorhabens den Liefertermin der Baumaschine vor. Dessen Überschreitung ist teilweise mit enormen Ausfallkosten und Vertragsstrafen verbunden. Aus diesem Grund wird ausgehend vom Wunschtermin des Kunden überprüft, ob der Termin unter Berücksichtigung der Kapazitäten und Durchlaufzeiten eingehalten werden kann. Dabei werden in vielen Betrieben nur die Kapazitäten und Durchlaufzeiten der direkten Bereiche (Fertigung, Montage) berücksichtigt. Die erforderlichen Durchlaufzeiten in den vorgelagerten Bereichen der Arbeitsvorbereitung, Technik und des Einkaufs werden nur unzureichend bzw. unter einer sehr groben Kapazitätsbetrachtung ermittelt. Die Folgen sind oft eine zu späte Erstellung der Produktionsstücklisten, der Produktions- sowie Beschaffungsaufträge, die in der Regel nur durch Sondermaßnahmen und dadurch mehr Aufwand kompensiert werden können. Im schlimmsten Fall lässt sich der vereinbarte Termin nicht einhalten, was zu hohen Kosten und Imageverlust des liefernden Herstellers führen kann. Eine effiziente Auftragsabwicklung bedarf hierfür einer professionellen Zeit- und Kapazitätswirtschaft, die für alle Aufträge unter Berücksichtigung der Durchlaufzeiten und Kapazitäten realisierbare Start- und Endtermine pro Funktionsbereich festlegt.

Das Ergebnis bildet den spätesten Start- und Endtermin eines Auftrags bzw. einer Anfrage pro Funktionsbereich ab. Wird diese Terminierung bereits in der Anfragephase durchgeführt, kann ermittelt werden, wann die Bestellung vom Kunden und die Auftragsbestätigung seitens Vertriebs vorliegen muss, damit der vereinbarte Liefertermin eingehalten werden kann.

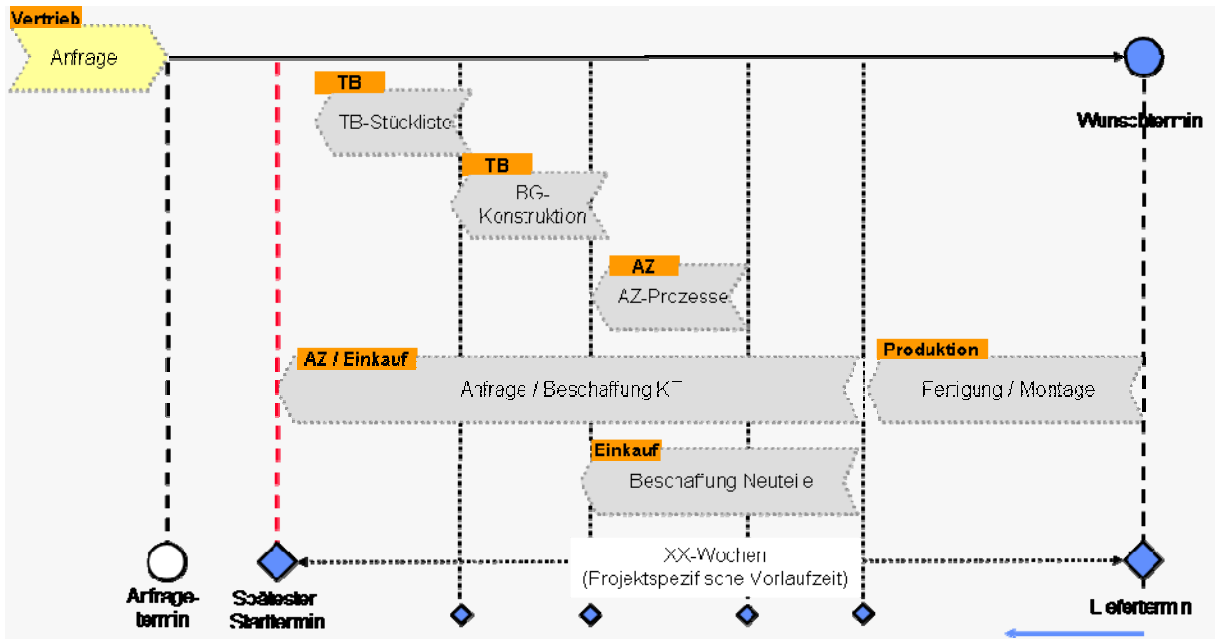


Abbildung 53: Rückwärtsterminierung in indirekten Bereichen.

Nach dem die Ecktermine erfolgreich ermittelt worden sind, muss der Auftrag unter Berücksichtigung aktueller Kapazitäten und Bedarfstermine der einzelnen Komponenten in direkten Bereichen bearbeitet werden.

Dabei sollen je nach Komplexitäts- und Standardisierungsgrad der Auftragspositionen (Baugruppen, Varianten) die erforderlichen Prozesse rechtzeitig angestoßen werden. Je höher der Standardisierungsgrad der Auftragspositionen, desto geringer ist der administrativer Aufwand pro Position. Sind die Auftragspositionen im Vorfeld nach Ihrem Standardisierungsgrad klassifiziert worden, können diese in unterschiedlichen Abläufen bearbeitet werden. Während eine Standardbaugruppe deutlich weniger Funktionsbereiche und Prozesse durchläuft, muss eine komplett neue Baugruppenvariante u.U. alle vorgelagerten Funktionsbereiche und Prozesse durchlaufen. Durch diese strikte Prozesstrennung der Baugruppen kann die Durchlaufzeit pro Baugruppe reduziert und administrativer Aufwand vermieden werden. Müssen bspw. zwei Auftragspositionen den gleichen Prozessbaustein durchlaufen, ist diejenige Position zuerst zu bearbeiten, die zeitkritischer ist. Anhand geschätzter Bearbeitungszeiten in indirekten Bereichen, Bedarfstermin in der Produktion, sowie Wiederbeschaffungszeit der dazugehörigen Komponenten, lassen sich so kritische Positionen ermitteln.



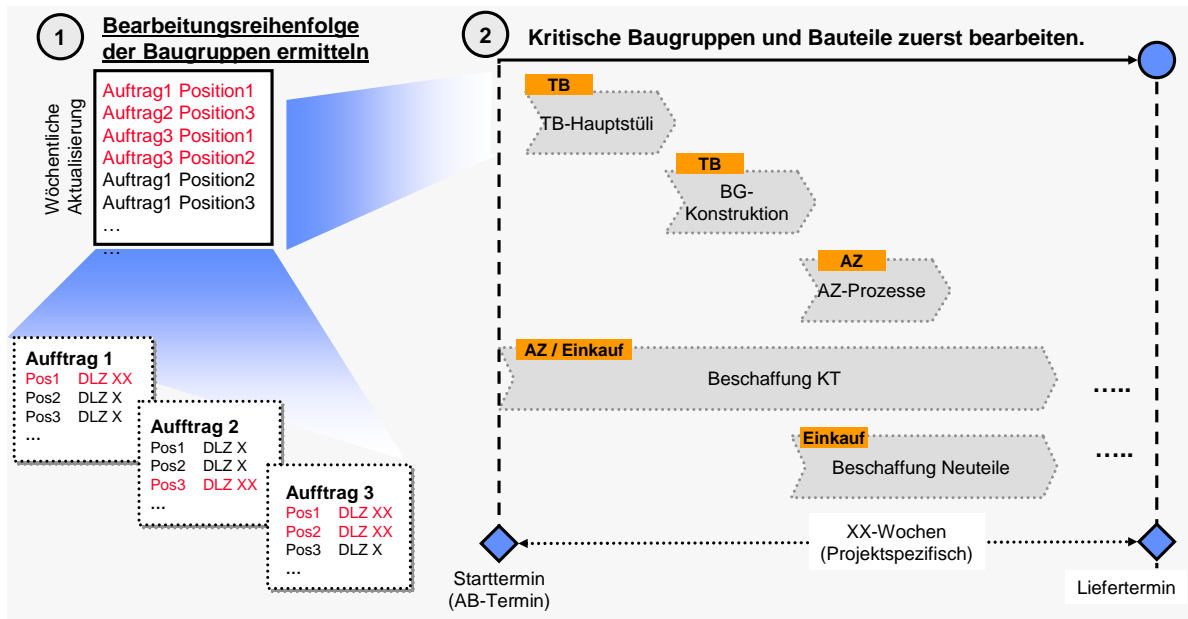


Abbildung 54: Reihenfolgeoptimierte Auftragsbearbeitung in indirekten Bereichen.

Ein weiteres Handlungsfeld im Rahmen der Auftragsabwicklung ist die termingerechte Bereitstellung unterschiedlicher Ausrüstungsstände. Werden Teile eines Auftrages nicht montiert und als Einzelteile oder Baugruppen dem Kunden geliefert, werden diese als „Beistellteile oder -baugruppen“ bezeichnet. Bei der Bearbeitung dieser Beistellpositionen müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Preisbildung: Da diese Teile nicht montiert werden, muss der Bauteilpreis jeweils um den Montageaufwand reduziert werden.
- Terminierung: Diese Bauteile werden in der Regel später benötigt als die Bauteile, die montiert werden. Die Bedarfstermine dieser Bauteile oder -gruppen sollten somit korrigiert werden.
- Stücklistenstruktur: Durch einfache Erkennungsmerkmale in der Stücklistenstruktur können Beistellteile erkannt und dadurch Terminierungs- und Kommissionieraufwand reduziert werden. Im Idealfall sollen die Beistellteile einer Baugruppe in einer in sich homogene Beistellbaugruppe abgebildet und gekennzeichnet werden.

### 3.2.1.3 Aufnahme und Bewertung der Produktions- und Montageprozesse

Das Verbundprojekt BAU-MO 2008 stellt die Montage als Ort der physischen Wertschöpfung in den Mittelpunkt der Betrachtungen. In diesem Zusammenhang gewinnt

die Analyse der Optimierungspotenziale und die Verbesserung der Durchlaufzeiten in der Montage an Bedeutung.

Bestehende Ansätze zur Analyse der Produktionsprozesse und Visualisierung der Optimierungspotenziale sind für den Einsatz in der Baumaschinenbranche in Ihrer Reinform nicht immer geeignet. Dies ist vor allem der teilweise extrem hohen Teilevarianz und deren Einfluss auf die Montagezeiten geschuldet. Des Weiteren liegen oft weder beim Hersteller noch bei den Komponentenlieferanten in der Baumaschinenindustrie aktuelle und gültige Prozessbeschreibungen, Planzeiten oder detailliert beschriebene Arbeitsfolgen in dem Umfang und Detaillierungsgrad vor, dass aussagekräftige Analysen der Montageprozesse getroffen werden können. Der Grad an automatisiert oder in Echtzeit erfassten Daten aus der Montage ist in der Branche relativ gering.

Der Aufwand, der für Analyse und Vorstudien betrieben werden muss, ist im Vergleich zu anderen Branchen weitaus höher. Die zu beplanenden Stückzahlen hingegen sind im Vergleich zu anderen Branchen wesentlich niedriger. Der Analyse- und Planungsaufwand wird von vielen Beteiligten gescheut – mit der Folge, dass die Transparenz in der Montage verloren geht und sich die Wirtschaftlichkeit in diesem Bereich verschlechtert.

Für das Verbundprojekt BAU-MO 2008 wurde daher die Aufgabenstellung gesetzt, Analysemethoden für die Montage zu entwickeln, die relativ aufwandsarm angewendet werden können und gleichzeitig die Komplexität der Montage berücksichtigen. Das Ziel heißt also „Variantenbeherrschung in der Montage“.

#### 3.2.1.3.1 Anforderungen an die Montageprozesse

Im Rahmen der Untersuchungen des Projekts BAU-MO 2008 wurden die Hebel zur Reduzierung der Liefer- und Durchlaufzeiten in der Montage untersucht. Nach einer ersten qualitativen Analyse wurden folgende Stellhebel in der Branche identifiziert:

- Standardisierung in den Arbeitsfolgen
- Bündelung von Arbeitsinhalten und Prozessen in Bereichen
- Reduzierung von montagestrukturbedingten Neben- und Verteilzeiten
- Optimierung der Materialbereitstellung am Arbeitsplatz
- Reduzierung der Handling- und Zugriffszeiten für Material und Werkzeug

Ziel der Analysesystematik war es, diese Stellhebel zur Effizienzsteigerungen und Durchlaufzeitenreduzierung für einen kompletten Montageprozess quantitativ zu ermitteln und somit das Optimierungspotenzial in einer Baumaschine schnell zu bestimmen. Eine weitere Anforderung bestand darin, die Systematik so auszulegen, dass die gewonnen Planungsdaten in einer durchgängigen Datenbasis konsolidiert werden können. Diese soll es ermöglichen, die benötigten Ausgangsdaten für die nachfolgende Prozessplanung und Neugestaltung ohne separate Datenkonvertierung aus einer Quelle auszulesen.

### 3.2.1.3.2 Konzept

Die Potenzialanalyse in der Montageplanung wurde in drei sequenziellen Bearbeitungsschritten durchgeführt (siehe Abbildung 55).

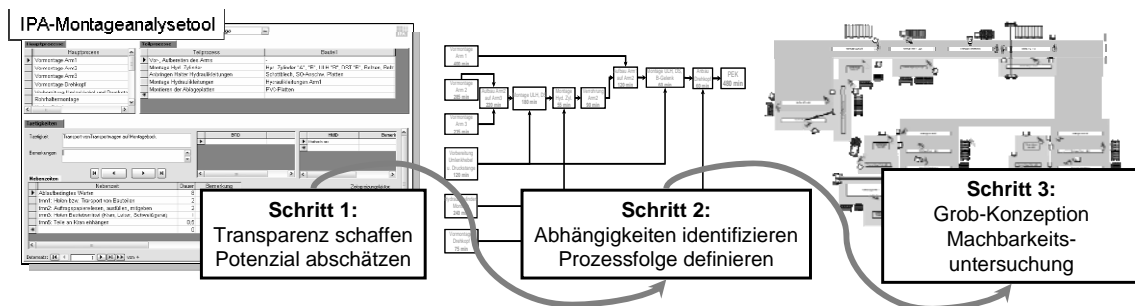


Abbildung 55: Planungsablauf im BAU-MO 2008-Montagereferenzprozess

Als Basis für die Arbeitsprozesssystematik im Bereich der Montageplanung dient das Montageprozessmodell. Dieses bildet die Grundlage für die Ermittlung von Optimierungspotenzialen und ist die Dokumentation des aktuellen Montageprozesses. Das angepasste Montageprozessmodell wurde erfasst, weil die vorhandenen Daten aus den Arbeits- und Prozessplänen oft nicht detailliert genug beschrieben sind, um als verlässliche Planungsgrundlage verwendet zu werden.

Im Modell werden alle Arbeitsschritte Haupt- oder Teilprozessen und zugehörige Bauteile und Werkzeuge den Prozessschritten zugeordnet. Die entwickelte Anwendung entspricht in der Logik im Wesentlichen den etablierten Prozessplanungswerkzeugen, jedoch mit dem Vorteil, dass die Anwendung in der Bedienung wesentlich einfacher gestaltet ist und sich für den mobilen Einsatz bspw. bei der Aufnahme von Prozessketten in der Montagewerkstatt eignet (siehe Abbildung 56).

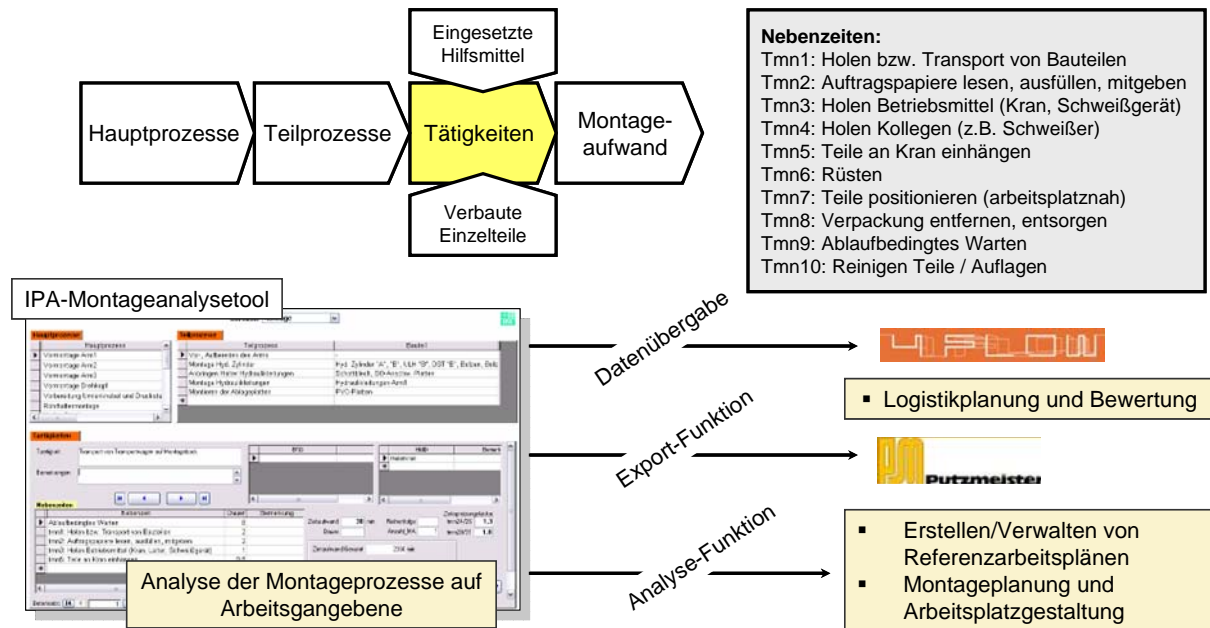


Abbildung 56: Konzept des Montageprozessmoduls

Die Anwendung wird im Wesentlichen durch die etablierte REFA-Methodenlehre unterstützt, indem alle relevanten Zeitarten als Prozessattribut zu Verfügung stehen. Dies ermöglicht es, den Montageprozess gezielt nach speziellen Nebenzeitenklassen zu analysieren und die ermittelten Daten in der Prozessaufnahme als Vorgabezeit oder Arbeitsplan weiterzuverwenden (siehe Abbildung 57).

Ergänzt wurde die Anwendung um die Entwicklung einfacher Schnittstellen, die es ermöglichen, die erarbeiteten Planungsdaten in speziellen Prozess- oder Logistikplanungswerkzeugen weiterzuverwenden. Im Projekt BAU-MO 2008 wurden diese Schnittstellen mit der Softwarelösung 4flow vista<sup>35</sup> der 4flow AG getestet.

### 3.2.1.3.3 Anwendung

Wichtiges Ziel im Projekt BAU-MO 2008 in der Montagegestaltung war es, die Variantenbeherrschung in allen Stufen der Montageplanung zu erhöhen. Hierzu wurde die entwickelte Methode an einem komplexen Beispiel getestet und weiterentwickelt.

<sup>35</sup> 4flow vista bildet die Basis für die entwickelte Softwarelösung zur Produkt- und Netzwerkkonfiguration (siehe Kapitel 3.3)

Im Projekt wurde als Demonstrator die Montage der Armpakete im Werk Gründau ausgewählt und die entwickelten Methoden in Access® prototypisch abgebildet. Die Montage des Armpakets ist sehr variantenreich, weil eine Vielzahl von Optionen und Ausstattungszustände montiert werden können. Da eine Vielzahl von Fügetechnologien (Schweißen, Schrauben, Kleben, Stecken, etc.) eingesetzt werden kann, sind die Montageprozesse komplex.

In der Anwendung wurden alle Prozesse in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Mitarbeitern (Monteure, Meister, Teamleiter) direkt in der Werkstatt aufgenommen.

Über die integrierten Auswertungsfunktionen konnte nach Abschluss der Prozessaufnahmen der bestehende Montageprozess „per Knopfdruck“ analysiert und bewertet werden, ohne separate Analysen vorzusetzen oder zusätzliche Analysen anzustoßen. Somit kann ein komplexer Montageprozess schnell einer Potenzialstudie unterzogen werden, die auf einer profunden Datenbasis beruht.

The screenshot displays a software interface for process analysis, titled 'Bereiche Montage'. It is divided into several sections:

- Hauptprozesse (Main Processes):** A list of main processes including 'Vormontage Arm1', 'Vormontage Arm2', 'Vormontage Arm3', 'Vormontage Drehkopf', 'Vorbereitung Umlenkhebel und Druckst...', and 'Hydraulikzylindermontage'.
- Teilprozesse (Sub-processes):** A table showing sub-processes and their corresponding components.
 

Teilprozess	Bauteil
Vor-, Aufbereiten des Arms	-
Montage Hyd. Zylinder	Hyd. Zylinder "A", "B", ULH "B", DST "B", Bolzen, Bolz
Anbringen Halter Hydraulikleitungen	Schottblech, SO-Anschw. Platten
Montage Hydraulikleitungen	Hydraulikleitungen Arm1
Montieren der Ablageplatten	PVC-Platten
- Tätigkeiten (Activities):** A section for defining activities, currently showing 'Transport von Transportwagen auf Montagebock'. It includes fields for 'Bemerkungen' and navigation buttons.
- Nebenzeiten (Side Times):** A table for recording side times.
 

Nebenzzeit	Dauer	Bemerkung
Ablaufbedingtes Warten		
tmm1: Holen bzw. Transport von Bauteilen		
tmm2: Auftragspapiere lesen, ausfüllen, mitgeben		
tmm3: Holen Betriebsmittel (Kran, Leiter, Schweißgerät)		
tmm5: Teile an Kran einhängen		
- Summary and Settings:** A panel on the right showing 'Zeitaufwand' (30 min), 'Reihenfolge' (1), and 'Zeitspreizungsfaktor' (tmm24/26). It also displays 'Summe Nebenzeiten' (20,23%) and 'Summe Hauptzeiten' (79,77%).

Abbildung 57: Abbildung von Montageprozessen

Im Anwendungsbeispiel konnte somit ermittelt werden, dass ablaufbedingt ein nicht unwesentlicher Teil der Montagezeit für Neben- und Verteilzeiten wie z.B. lange Wegezeiten, Warten auf Kran, etc. verwendet wird.

Die ermittelten Potenziale dienen zur Bestimmung der jeweils wirkungsvollsten Optimierungsmaßnahmen für die Abschnitte der Prozesskette. Ferner konnte so schnell

ermittelt werden, welche Mittel und Investitionen für bestimmte Optimierungsprojekte zu Verfügung anzusetzen sind.

Der Nutzen der Anwendung liegt darin, dass Montageprozesse in der Produktion durchgängig, ohne Medienbruch, Selbstaufschreibungen, separate Zeitaufnahmestudien etc. mit einem einfachen portablen Werkzeug aufgenommen werden können. Die Anwendung hat gezeigt, dass sich mittels vordefinierter Auswertungsroutinen und Analysemethoden auf Basis der Datenplattform schnell die Optimierungspotenziale herleiten und bewerten lassen. Der Nutzen liegt weiterhin darin, dass in einer sehr frühen Phase der Montageplanung Projektaufwand und benötigte Investitionen gezielt beeinflusst werden können.

Die Variantenbeherrschung in der Montage kann in der Analysephase und in der Vorplanung durch angepasste Untersuchungsmethoden und datentechnische Durchgängigkeit effizient unterstützt werden. Die Hebel zur Durchlaufzeitreduzierung können nur erfasst werden, wenn der komplette Montageprozess durchgängig erfasst wird. Oberflächliche Spot-Analysen und Einzelbetrachtungen von isolierten Arbeitsfolgen können den Umfang an benötigten Prozessverbesserungen nicht ausreichend beschreiben.

Die bestehenden Werkzeuge zur Prozessanalyse haben auch im Kontext der Anforderungen in der Baumaschinenbranche weiterhin Gültigkeit. Eine zusätzliche Anforderung besteht in der Aufbereitung und Dokumentation der Analysedaten, um sie in weiteren Planungsstufen oder in den betrieblichen Informationssystemen weiterverwenden zu können. Variantenbeherrschung in der Montage ist möglich, erfordert aber eine durchgängige und solide Datenbasis.

#### **3.2.1.4 Optimierung der Produktions- und Montageprozesse**

Die Gestaltung von Montagesystemen ist eine komplexe Planungsaufgabe, insbesondere im Maschinen- und Anlagenbau und in der Baumaschinenindustrie. In mittelständischen Unternehmen sind die personellen Kapazitäten für die Prozessplanung oft stark begrenzt. Erschwerend kommt hinzu, dass ein Großteil der personellen Engineering-Kapazität sich auf den Anlauf von Neuprodukten konzentriert. Für eine effiziente, schnelle und aktive Montageplanung fehlen derzeit die Kapazitäten. Zum effizienten Bearbeiten eines Montageplanungsprojekts sind zahlreiche Planungsdaten und Grundlagen notwendig. Diese sind im Maschinen- und

Anlagenbau auf verschiedene Träger von Informationen verteilt. Die Träger der Planungsdaten sind in den betrieblichen Systemen (bspw. ERP, PLM, etc.) dokumentiert oder liegen in Form von Expertenwissen vor (siehe Abbildung 58).

Aus dieser Konstellation resultieren viele Probleme, die den Planungsprozess erschweren:

- Planungsrelevante Daten sind nicht verknüpft.
- Wissen von Experten und Fachbereichen ist nicht dokumentiert.
- Daten werden in verschiedenen Systemen und lokalen Datenbanken redundant vorgehalten.
- Planungsgrundlagen sind zu Beginn des Vorhabens nicht aktuell.

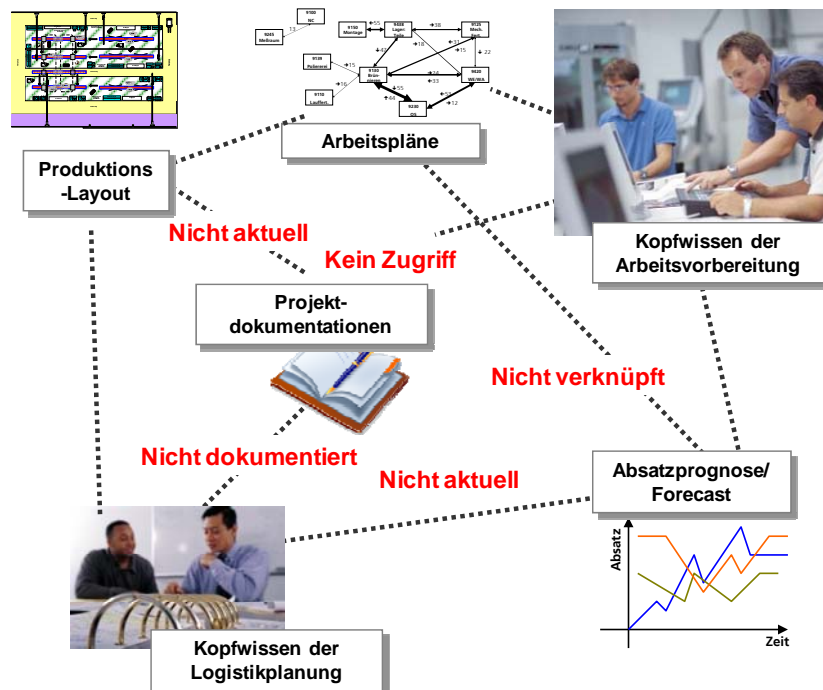


Abbildung 58: Ist-Zustand der Vernetzung von Planungsdaten in Montageplanungsprojekten

Das Ziel ist es, die eingesetzten Planungsmethoden, -daten und Werkzeuge so zu vernetzen, dass Planungsergebnisse auf Grundlage einer durchgängigen Datenbasis schnell und effizient erzielt werden können. Diese Planungsergebnisse werden in der Betriebsphase auf zukünftige Gültigkeit bewertet, so dass bei Veränderung der Umweltbedingungen (bspw. Stückzahlerhöhungen, Variantenmixverschiebung, etc.) rechtzeitig Anpassungen des Montagekonzepts erfolgen können (siehe Abbildung 59).

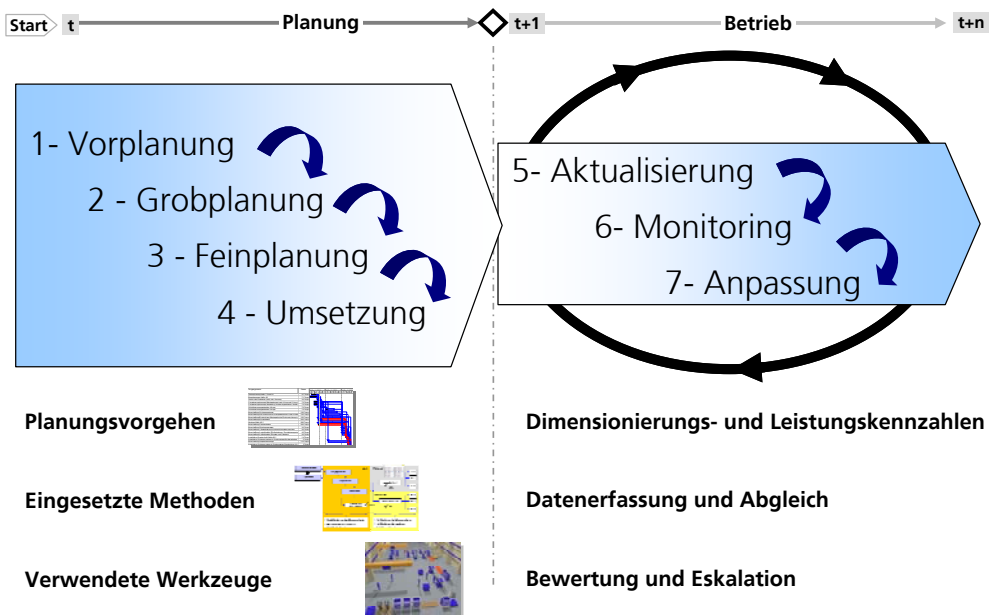


Abbildung 59: Modell einer integrierten Montage- und Logistikplanung

Folgende Fragestellungen sind dabei zu beantworten:

- Welche variantenspezifischen Informationen werden in welcher Planungsphase benötigt?
- Wie können diese Informationen sukzessive und phasenspezifisch erfasst werden?
- Wie lassen sich diese Informationen für weitere Planungsumgebungen und Werkzeuge nutzen?
- Wie kann die für eine Variante erarbeitete Datenbasis mehrfach verwendet werden?
- Wie lassen sich die zwei Planungswelten Montage und Logistik datentechnisch am besten koppeln?
- Wie lassen sich die Planungsergebnisse in der Betriebsphase aktuell halten?
- Welche Randbedingungen und Systemvoraussetzungen sind zu erfüllen, damit das Referenzmodell angewendet werden kann?
- Wie können die Planungsergebnisse weiterverwendet werden?

Diese Fragestellungen wurden in folgenden Schritten bearbeitet.

Schritt 1:



Im ersten Schritt wurden die Planungselemente einer integrierten Montage- und Logistikplanung definiert und logisch verknüpft. Dabei wurden sowohl Einzelprozesse als auch Planungsdaten und Methoden der Montage- sowie Logistikplanung in Beziehung zueinander gesetzt. Dies bildet das logische Modell für die branchenspezifische Lösung.

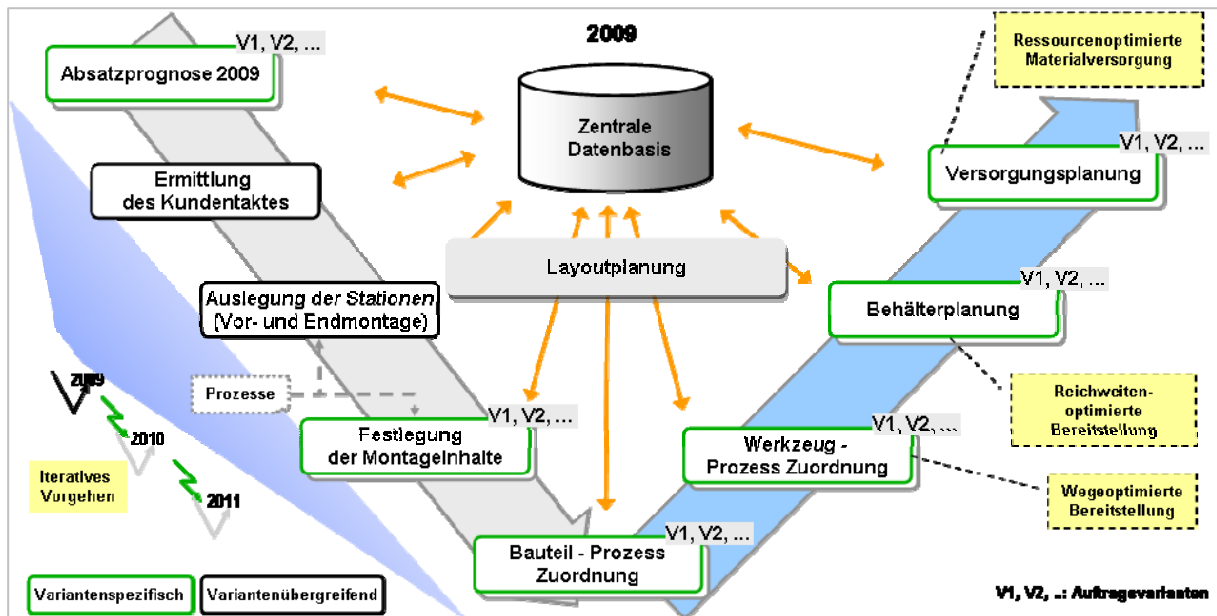
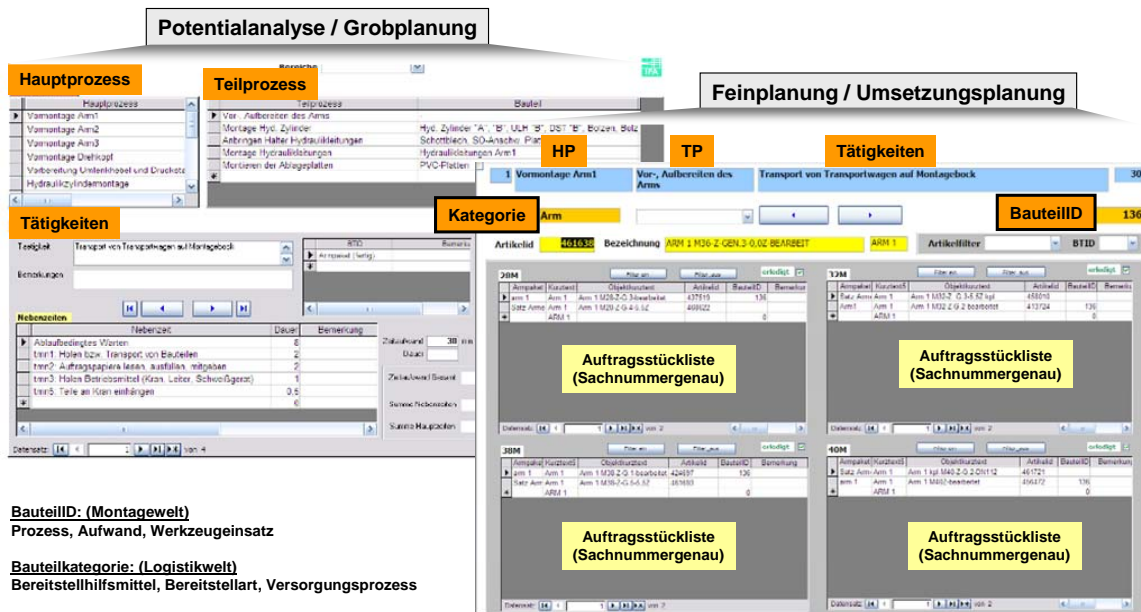


Abbildung 60: Kopplung der Montage- und Logistikplanung

### Schritt 2:

Im zweiten Schritt wurde das Modell in ein „schlankes“ IT-Werkzeug auf Basis einer relationalen Datenbank übertragen und anhand eines durchgängigen und konkreten Beispiels die Praxistauglichkeit der Lösung erprobt. Dabei wurden für ein repräsentatives Produkt die Montage- und Logistikprozesse eines Partners aufgenommen und erforderliche Personal- sowie Flächenkapazitäten in Abhängigkeit der betrachteten Produkte ermittelt.



**BauteilID: (Montagewelt)**  
 Prozess, Aufwand, Werkzeugeinsatz  
**Bauteilkategorie: (Logistikwelt)**  
 Bereitstellhilfsmittel, Bereitstellart, Versorgungsprozess

Abbildung 61: Werkzeug zur variantengerechte Prozessgestaltung in der Montage

Durch dieses repräsentantenbasierte Planungsvorgehen konnten viele Planungsschritte und -ergebnisse mehrfach verwendet und der Planungsaufwand signifikant reduziert werden. In einem Planungslauf können somit mehrere Varianten gleichzeitig geplant werden. Redundante Tätigkeiten in der Planung können vermieden werden.

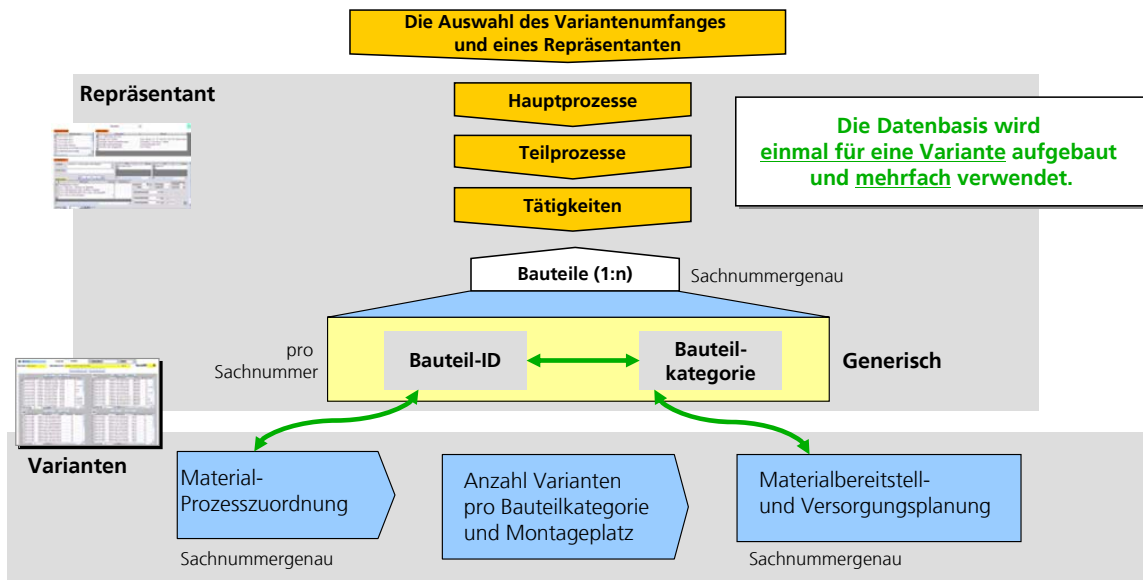


Abbildung 62. Repräsentantenbasiertes Planungsvorgehen

Bei der Planung der Logistikprozesse wurde eine Bibliothek mit Standardprozessbausteinen gebildet und die Bauteile diesen Standardprozessen zugeordnet. Dieses Vorgehen ermöglicht es, die Prozessaufwände und die erforderliche Logistikkapazitäten ganzheitlich zu ermitteln. Anhand vordefinierter Merkmale können neue Bauteil-

le den bestehenden Logistikprozessen relativ schnell zugeordnet werden und der erforderliche Planungsaufwand kann reduziert werden.

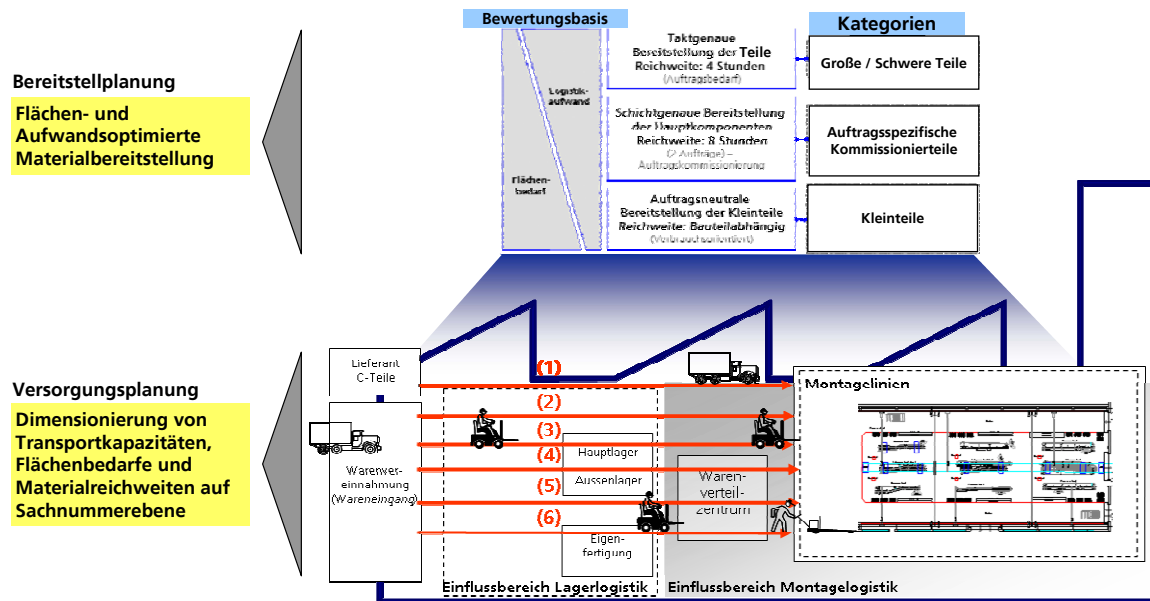


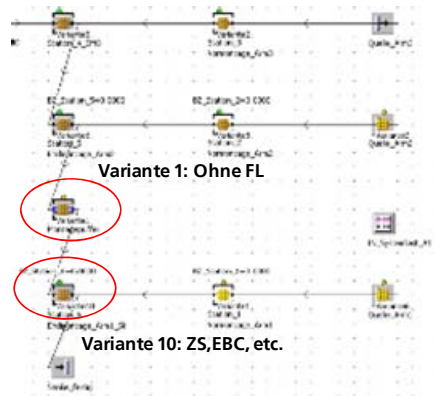
Abbildung 63 Versorgungsprozesse und die Ermittlung des Logistikaufwands in der Montage

### Schritt 3:

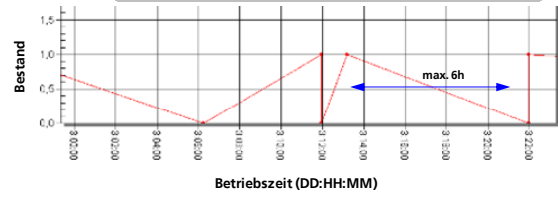
Im dritten Schritt wurden Schnittstellen definiert, die die Weiterverwendung der generierten Prozessdaten und Planungsergebnisse in anderen Planungsumgebungen ermöglichen. Hierzu wurden die Anforderungen der Branche beschrieben und Austauschformate festgelegt. Zugleich wurde exemplarisch ein Szenario definiert und in einer Standardumgebung für Simulationsstudien<sup>36</sup> die Auslastung der Kapazitäten, die Puffergrößen sowie die resultierenden Durchlaufzeiten simuliert.

<sup>36</sup> Diese Betrachtung erfolgte in der Simulationsumgebung Plant-Simulation.

**Logische Simulation der Montageprozesse**



**Puffergrößen und Durchlaufzeiten**



**Ermittlung der Montagekapazitäten und des Flexibilitätsbedarfs**

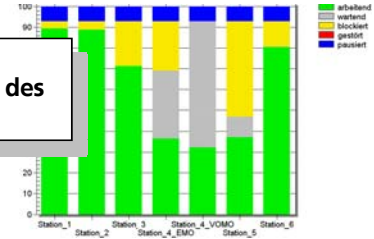


Abbildung 64: Simulation und Absicherung des Planungsergebnisses

Somit konnten die wichtigsten Kernprozesse unter allen vorher definierten Lastszenarien getestet werden. Somit wurde die Ergebnis- und Investitionssicherheit gewonnen

**3.2.1.5 Aufnahme und Bewertung der Versorgungsprozesse**

Bei Projektbeginn wurde bei den Herstellern (*Putzmeister Concrete Pumps* und *Liebherr Mischtechnik*) im Rahmen der Potenzialanalysen festgestellt, dass ein sehr enger Zusammenhang zwischen der Lieferleistung der Hersteller und der Lieferleistung der Zulieferer besteht. Es liegt im Interesse des Herstellers und des Lieferanten, die Prozessqualität zu stabilisieren und zu verbessern. Die Verkürzung der Durchlauf- und Lieferzeiten ist eine notwendige Bedingung für langfristige Wettbewerbsvorteile.

Nur bei Einhaltung der zugesagten Liefertermine lässt sich die Elastizität des Preises gegenüber der Zeit beim Kunden in mengen- oder preisbedingte Umsatzsteigerungen beim Hersteller und beim Lieferanten übertragen. Um den möglichen Leistungsbeitrag der Lieferantenlandschaft<sup>37</sup> aus Sicht des Herstellers festzulegen, ist ein gewisses Maß eine Innensicht in die betrieblichen Abläufe der Lieferanten notwendig.

<sup>37</sup> Dies beschreibt den spezifischen Beitrag eines Lieferanten zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Kunden- und Lieferantenbeziehung

Zu diesem Zweck wurde eine Systematik zur Bewertung und Optimierung der Prozessqualität an Beispiel von Stahlbauteilen für die Baumaschinenindustrie entwickelt und getestet.

#### 3.2.1.5.1 Anforderungen an die Bewertungssystematik:

In Zusammenarbeit mit der *Liebherr Mischtechnik GmbH* wurden die Anforderungen an ein unterstützendes Werkzeug aufgenommen. Die wichtigste Anforderung an das Werkzeug ist die Unterstützung der Aufnahme und die Darstellung der aktuellen Situation beim Lieferanten und die schnelle Bewertung der Lieferantenleistung, damit möglichst schnell lieferterminrelevante Probleme erkannt und flankierende Maßnahmen zur Verbesserung eingeleitet werden können.

Dabei sollen folgende Fragen abgedeckt werden:

##### Operative Auftragsabwicklung

- Wie schnell kann eine Bestellung durch den Lieferanten bearbeitet werden?
- Wie schnell erfolgt eine Rückmeldung und Bestätigung an den Hersteller?
- Welche Planungs- und Steuerungssysteme kommen zum Einsatz?

##### Nutzung der Fertigungskapazitäten

- Wie gut sind die eingesetzten technischen Fertigungskapazitäten (Anzahl von Betriebsmitteln und Mitarbeiter) auf den Bedarf des Herstellers abgestimmt?
- Nach welcher Logik werden Aufträge in der Fertigung bearbeitet?
- Wie gut ist die Organisation (Zusatzschichten, Leiharbeitspersonal, Schichtaufbau, verlängerte Werkbank) auf den Bedarf des Herstellers abgestimmt?

##### Prozess- und Auslieferqualität

- Welche Prozesse der Qualitätssicherung sind etabliert und werden dokumentiert?
- Welche Zertifizierungen (insb. bei neuen Lieferanten) liegen vor?
- In welchem Umfang treten Bauteilschäden und Transportschäden auf?

##### Einsatz von Mess- und Prüfmitteln

- Welche Mess- und Prüfmittel werden beim Lieferanten eingesetzt?
- Werden die richtigen Prüfmerkmale erfasst und Messungen korrekt durchgeführt?

##### Bewertung der Lieferzuverlässigkeit

- Wie gut ist der Zugriff des Lieferanten auf Rohmaterial?
- Wie abgestimmt ist der Zugriff des Lieferanten auf seine Unterlieferanten?
- Welche Maßnahmen ergreift der Lieferant bei schlechter Termintreue und Abweichungen von der vereinbarten Lieferleistung?

#### Störungsverhalten bei Maschinen und Anlagen

- Welches sind die aktuellen Engpassressourcen beim Lieferanten?
- In welchem Umfang treten Störungen an den Engpassressourcen auf?
- Welche Maßnahmen werden zur Störungsbeseitigung und Prozesssicherung ergriffen?

Daraus resultieren folgende Anforderungen zur Auswertung der Daten

- Graphische Visualisierung von Verbesserungen oder Verschlechterungen im Prozess des Lieferanten
- Hinterlegen und Definition von bauteil- und prozessspezifischen Merkmale eines Zukaufteils
- Eingabe- und Analysefunktion für vergleichbare Lieferanten- und Teilemerkmale

#### 3.2.1.5.2 Konzept

Das entwickelte Werkzeug gliedert sich in die zwei Blöcke Audit und Datenaufnahme sowie Definition von Detailmaßnahmen. Durch gemeinsame Optimierung der Einkaufshebel (Kapazitäten, Organisation, Prozesse, und Produkt) wird die Kunden-Lieferanten-Situation zu verbessert. Der Beitrag des Herstellers in der Systematik liegt vor allem darin, den Lieferanten „Hilfe zur Selbsthilfe“ zu vermitteln und eigene akute Problemstellungen den Lieferanten schnell zu kommunizieren.

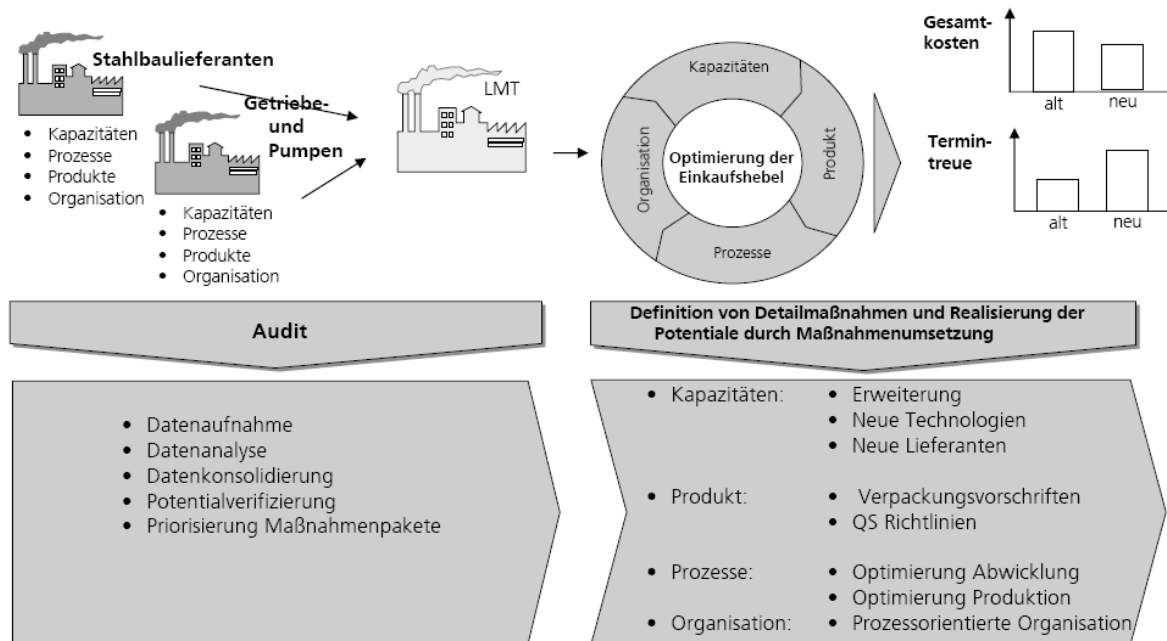


Abbildung 65: Grundaufbau der Optimierungssystematik (Quelle: Liebherr Mischtechnik)

Der Beitrag des Lieferanten liegt vor allem darin, dass er dem Hersteller den Rahmen seiner Möglichkeiten insbesondere bezüglich der Fertigungskapazitäten zu Verfügung stellt. Dies bildet eine breite und solide Basis für Rahmenvertragsverhandlungen und Preisvereinbarungen. Optimierungen finden bilateral statt und dienen der gemeinsamen Zielsetzung.

### 3.2.1.5.3 Anwendung

Die Systematik wurde in Zusammenarbeit mit der *Liebherr Mischtechnik GmbH* entwickelt und erprobt. Hierzu wurden im ersten Schritt bestehenden Systematiken aus anderen Branchen auf Weiterverwendung und Adaptionfähigkeit untersucht. Im nächsten Schritt wurden die zu erhebenden Daten für das Lieferantenaudit definiert und in verschiedenen Checklisten zusammengefasst (siehe Abbildung 66).

Abbildung 66: Standardisierte Datenaufnahme und –analyse im Lieferantenaudit

Die zu erhebenden Lieferantendaten übersteigen die Informationen, die aus den bestehenden betrieblichen Informationssystemen der Hersteller zu Verfügung stehen, um ein Vielfaches, da dort die „Innensicht beim Lieferanten“ fehlt. Die Systematik gliedert die Daten in die Kategorien Disposition, Bauteil, und Prozesse. Für jeden Bereich wurden angepasste Checklisten und Fragebögen entwickelt.

Die gewonnenen Daten wurden im Anschluss an die Erfassung in einer neu aufgebauten Datenbank dokumentiert und für die Ergebnisdarstellung konsolidiert. Diese Datenbank und die Auswertefunktionen wurden im Rahmen von BAU-MO 2008 prototypisch unter MS-Access® realisiert (siehe Abbildung 67).



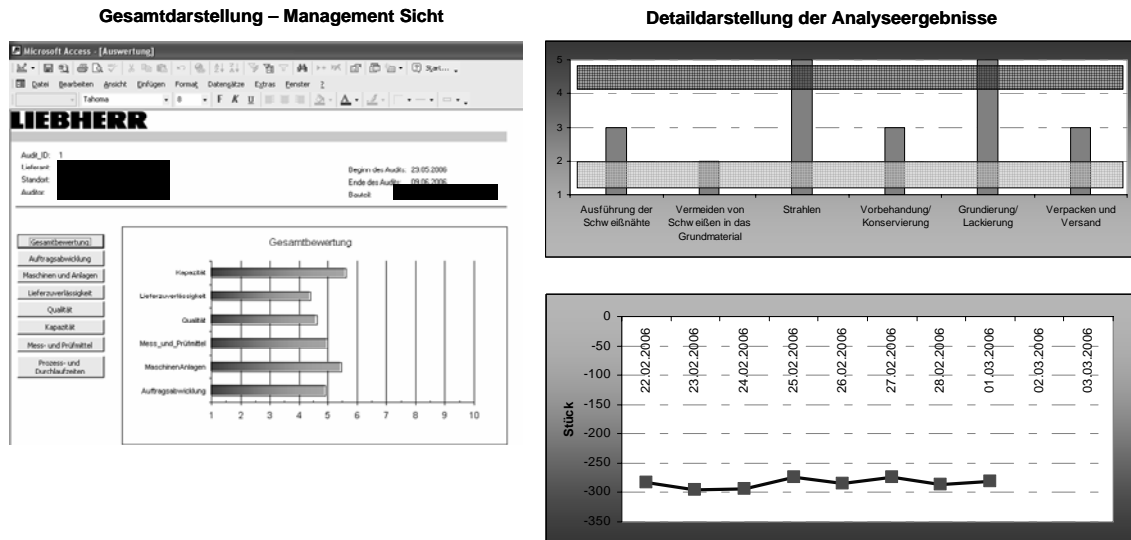


Abbildung 67: Ergebnisdarstellung der Analysedaten aus dem Lieferantenaudit

Somit kann dezidiert ermittelt und dargestellt werden, welche Verbesserungspotenziale zu priorisieren sind, d.h. welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, damit eine Verbesserungswirkung möglichst schnell erreicht werden kann.

Des Weiteren kann mittels der Systematik bewertet werden, wie gut sich der Lieferant im Vergleich zu anderen Lieferanten mit gleichen Lieferantenmerkmalen für eine Beauftragung mit der Belieferung von Bauteilen eignet. Ebenso kann die Verbesserungsleistung gemessen werden, d.h. selbständige Optimierungsmaßnahmen des Lieferanten sind für den Hersteller sichtbar. Die Ergebnisse von verabschiedeten Maßnahmen aus den Prozessaudits sind damit für Kunde und Lieferant transparent.

**Nutzen:** Mit der Entwicklung und prototypischen Einführung unter der Regie der Hersteller ist in der Branche ein erster Schritt gemacht worden, der die Integration der Lieferanten in den Wertschöpfungsprozess erhöht und laufende Verbesserungen fördert. Mit der entwickelten Systematik werden bisher nur Grundvoraussetzungen zur Durchlaufzeitreduzierungen erreicht, da immer ein bilaterales Verhältnis zwischen Kunde (OEM) und Lieferant betrachtet wird.

**Fazit:** Im Rahmen des Forschungsprojekts BAU-MO 2008 wurde in Anlehnung an bestehenden Systematiken zum Prozessaudit der VDA 6.2. ein angepasstes Vorgehen entwickelt und zur praktischen Anwendung bei der *Liebherr Mischtechnik GmbH* gebracht. Im Ergebnis lässt sich zusammenfassen, dass sich die wesentlichen Aspekte ohne umfangreiche Änderungen der Grundsystematik auf weitere Lieferanten in der Baumaschinenindustrie übertragen lassen.

Die Hauptaufgabe nach der Einführung liegt schwerpunktmäßig darin, den Auditierungsprozess in der Vor- und Nachbereitungsphase beim Hersteller und während der Auditierungsphase beim Lieferanten organisatorisch zu verankern und die betrieblichen Systeme zur Dokumentation und Weiterverfolgung der Lieferantenleistung zu befähigen.

### **3.2.1.6 Konfigurationssystematik für Versorgungsprozesse**

Wie in Kapitel 1.2 beschrieben ist es eine Herausforderung in der Baumaschinenherstellung, die Versorgungsprozesse zwischen Herstellern, Systemlieferanten und deren Lieferanten zu optimieren. Dieser Trend wird mit zunehmender Fremdvergabe noch weiter verschärft. Die Analyse der bestehenden Versorgungsprozesse<sup>38</sup> hat gezeigt, dass die Teileversorgung relativ unsystematisch geplant wird. Die Versorgungsprozesse sind im Hinblick auf Belieferungsszenarien, Reichweiten, Steuerungsprozesse und Lagerung tendenziell undifferenziert. So kommt es de facto oft dazu, dass bspw. ein Kleinteil logistisch gleich behandelt wird wie eine kostenintensive Systembaugruppe.<sup>39</sup>

Vor diesem Hintergrund wurde für die Baumaschinenindustrie eine Konfigurationssystematik für Versorgungsprozesse entwickelt. Versorgungsprozesse zwischen Lieferanten sollen so möglichst einfach durch die Logistikplanung „konfiguriert“<sup>40</sup> werden können. So kann sichergestellt werden, dass für die zu konfigurierenden Teile der aktuell beste Versorgungsprozess ausgewählt wird.

#### **3.2.1.6.1 Anforderungen:**

Es wurde ein angepasstes Vorgehen zur Konfiguration von Versorgungs- und Logistikprozessen entwickelt, das die Gestaltung von Lieferketten im Netzwerk effektiv unterstützt. Hierzu existieren in anderen Referenzindustrien zahlreiche Vorarbeiten

---

<sup>38</sup> betrachtete Prozesse sind in erster Linie in die Kategorien Transport, Lagerung, Kommissionierung, Verpackung, Ladungssicherung, Behältermanagement, Güterumschlag sowie Informationsfluss zuzuordnen

<sup>39</sup> logistisch gleichbehandelt bedeutet, dass bspw. für die Artikel dieselben Dispositionsmethoden, Bestandsreichweiten, Lagerorte oder Belieferungsformen verwendet werden.

<sup>40</sup> Unter Konfiguration wird in dem Sinne folgendes verstanden: Versorgungsprozesse entsprechend im Vorfeld festgelegter Parameter, Anforderungen und Restriktionen zu variieren und in unter monetären, logistischen sowie organisatorischen Gesichtspunkten optimale Gestalt zu überführen

und Anwendungen. Deren Adaption für die Baumaschinenherstellung steht jedoch noch weitestgehend aus. Gründe dafür liegen vor allen in:

- Komplexe Konstruktion mit teilweise hohen kundenspezifischen Inhalten innerhalb eines Auftrags
- Teilweise geringe technische und konstruktive Reife des Auftrags bei Einlassung in die Auftragsabwicklung
- hoher Anteil an auftragspezifisch disponierte Bauteile am Gesamtauftrag
- Konkurrierende logistische Ziele innerhalb der Produktions- und Beschaffungslogistik aufgrund des Bauteilgewichts und der –geometrien

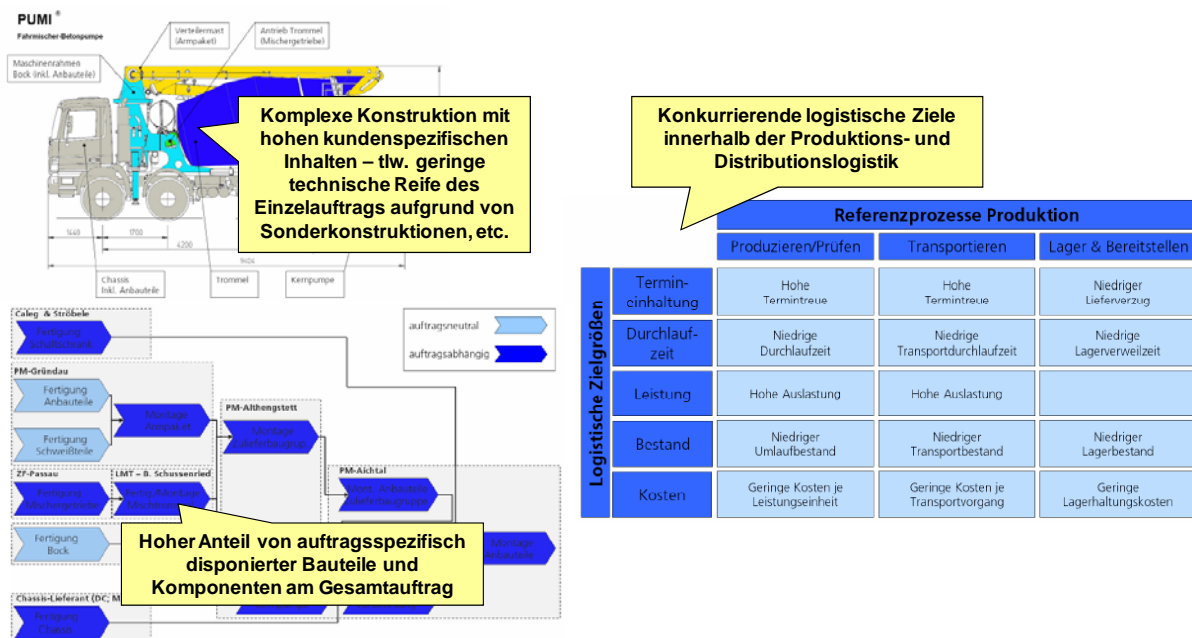


Abbildung 68: Anforderungen an die Logistik-Gestaltung

Vor dem Hintergrund der speziellen Anforderungen aus der Baumaschinenherstellung wurden in Bezug auf die Planung von Versorgungsprozessen folgende Fragestellungen mit besonderer Relevanz herausgearbeitet (siehe Abbildung 68):

In welcher Situation ist welcher Versorgungsprozess sinnvoll?

- Welche unterschiedlichen Versorgungsprozesse stehen zur Konfiguration zu Verfügung?
- Welche Umweltbedingungen müssen gegeben sein, damit der Einsatz spezifischer Methoden wirtschaftlich darstellbar ist?

- Welche Vorteile resultieren aus einer differenzierten Gestaltung der Versorgungsprozesse im Vergleich zur Standardbelieferung?

Wie können Versorgungsprozesse am Besten konfiguriert werden?

- Welche Einflussfaktoren müssen für eine „logistische Beregelung“ vorliegen?
- Wie kann die Planungszeit für die Versorgung von Neuteilen im Vergleich zu heute reduziert werden?
- Wie kann die Planungsgüte erhöht werden?

Was sind im Vergleich zu Referenzprozessen in anderen Industrien die branchenspezifischen Besonderheiten?

- An welchen Stellen der Konfigurationsphase der Logistik sind bestehende Systematiken für die Baumaschinenherstellung anwendbar?
- In welchen Bereichen oder aufgrund welcher Randbedingungen sind bestehende Methoden oder logistische Strategien für die Baumaschinenindustrie nur bedingt geeignet?

Diese Fragen sollten durch die Systematik insbesondere im Fall der Neuplanung von Teilen im Liefernetz beantwortet werden.

Bei der Entwicklung der Systematik wurde ein Schwerpunkt darauf gesetzt, dass das Vorgehen sich eng an bestehende und verbreitete Versorgungsplanungsmethoden aus der Automobilindustrie anlehnen soll. Die bestehenden Ansätze sind vor dem Hintergrund der Eignung für die Baumaschinenherstellung zu bewerten und die Methoden auf eine einfache und schnelle Anwendbarkeit zu abstrahieren.<sup>41</sup>

#### 3.2.1.6.2 Konzept:

Gegenstand des Konzepts ist die Definition von generischen Teileklassen, die nach den wichtigsten logistikrelevanten Produktmerkmalen klassifiziert werden können.

Für die Herstellung von Baumaschinen wurden folgende planungsrelevanten Merkmale festgelegt:

Spezifizierung:

---

<sup>41</sup> Die Abstraktion und Vereinfachung der Methoden ist in der Baumaschinenindustrie wichtig, da sie im Vergleich zur Automobilbranche wesentlich weniger Planungskapazitäten zu Verfügung hat.

In der Systematik wird zwischen kundenspezifisch bzw. nicht kundenspezifisch unterschieden. Dies umfasst vor allem die technische und konstruktive Auslegung des Teils. Obwohl das Endprodukt, also die Baumaschine als Ganzes, in den meisten Fällen als kundenspezifischer Auftrag betrachtet werden kann, trifft dies nicht zwingend für die untergeordneten Baugruppen und Komponenten zu.

#### Fertigungstiefe:

Grundlegendes Kriterium bezüglich Eigenfertigung oder Fremdbezug stellt die angestrebte Fertigungstiefe „im eigenen Hause“ dar. Diese Fragestellung kann durch eine ausführliche „Make-or-buy“ Analyse unter Beachtung verschiedener Gesichtspunkte beantwortet werden. Im Rahmen der entwickelten Systematik wird dieses Merkmal als Randbedingung, nicht als veränderliche Größe betrachtet.

#### Variantenvielfalt:

In der entwickelten Systematik wird die Variantenvielfalt bezüglich der durch die jeweilige Teileklasse zusammengefassten Bauteile, Komponenten und Module betrachtet. Die Variantenvielfalt auf Ebene des Endprodukts fließt somit nur indirekt ein. Maßgeblich ist die Variantenzahl auf Artelebene, also der reine Umfang der Produktpalette des entsprechenden Artikels.

#### Komponentenwert:

Zur Einteilung der Komponenten in wertbezogene Klassen bietet sich die in der Praxis bewährte ABC-Analyse an. Man klassifiziert „A-Teile“, diese sind maßgeblich für die Höhe des gebundenen Kapitals verantwortlich, „B-Teile“, die wertmäßig eine mittlere Position einnehmen sowie „C-Teile“, welche die Kapitalbindung nur in sehr geringem Maße beeinflussen.

#### Vorhersagegenauigkeit:

Die Systematik greift auf eine Klassifizierung zu, die stark an die allgemein gebräuchliche XYZ-Analyse angelehnt ist. Die XYZ-Klassifikation unterscheidet Artikel mit regelmäßigem / kontinuierlichem Verbrauch (X-Artikel) und solche mit völlig unregelmäßigem bzw. sporadischer / einmaliger Nachfrage (Z-Artikel). Somit lässt sich das Merkmal Vorhersagegenauigkeit gut in Klassen beschreiben.

### Wiederbeschaffungszeit:

Insbesondere beim Bau großer Anlagen und Sondermaschinen, also auch in der Fertigung von Baumaschinen, wird die Durchlaufzeit des Gesamtauftrags oft unverhältnismäßig von der Beschaffungszeit einzelner Komponenten bzw. Bauteile festgelegt. Infolge des Spezifizierungsgrades, weisen so genannte Langläufer Fertigungs- und Montagezeiten auf, die Beschaffungs- und Montagezeit der restlichen Komponenten in manchen Fällen stark übersteigen.

Die Wiederbeschaffungszeit wird in folgenden Ausprägungsstufen beschrieben:

- gering - Zulieferteile und Komponenten sind beim Lieferanten jederzeit verfügbar und können innerhalb kürzester Zeit geliefert werden
- mittel - Durchlaufzeit des Gesamtauftrags ist größer als die Wiederbeschaffungszeit
- hoch - Durchlaufzeit des Gesamtauftrags ist geringer als die Wiederbeschaffungszeit des Artikels

### Lagerfähigkeit:

Aufgrund der häufig großvolumigen und bezüglich des späteren Einsatzzwecks robust ausgelegten Baugruppen wird, soweit möglich, die Lagerung im Freien (freilagerfähig bzw. nicht freilagerfähig) vorgezogen bzw. spezielle Anforderungen an die Lagerung gestellt.

### Handling:

Das Merkmal Handling beschreibt die Notwendigkeit universelle oder spezielle Schutzverpackungen oder Ladehilfsmittel für den Transportprozess einzusetzen. Je nach Teil entstehen somit unterschiedliche Randbedingungen für die Gestaltung des Versorgungsprozesses.

### Komponentengröße:

In der Baumaschinenherstellung wird die logistische Abwicklung des Versorgungsprozesses stark von physischen Eigenschaften wie z.B. Geometrie, Gewicht, Oberflächenbeschaffenheit der Komponenten beeinflusst. Insbesondere das Gewicht und die Geometrie der Konturen des betrachteten Artikels nehmen hier starken Einfluss.

Durch die Abbildung der Teilemerkmale in Klassen können spezifische logistische Gestaltungsstrategien für jedes Teil konfiguriert werden (siehe Abbildung 69).

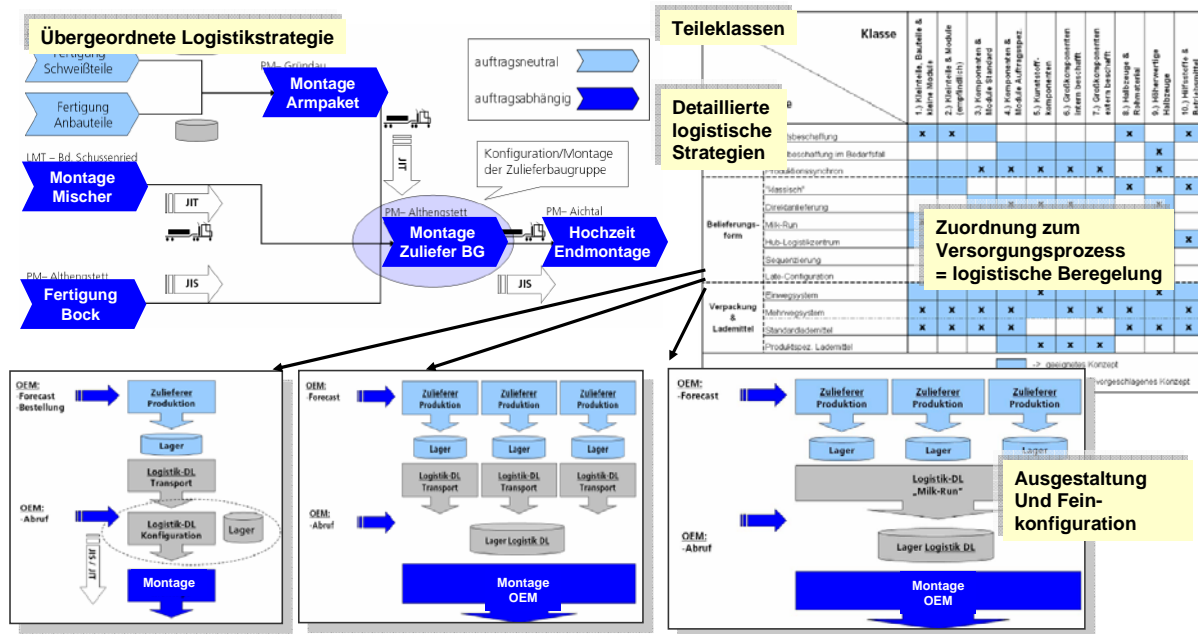


Abbildung 69: Vorgehen in der Konfiguration von Versorgungsprozessen

Im Rahmen der Konfiguration werden den Teileklassen allgemeine Versorgungsprozesse zugeordnet, die in einer anschließenden Konfigurationsphase feiner ausgestaltet und parametrisiert werden. So können schrittweise die jeweils optimalen Versorgungsprozesse für ein Teil identifiziert und zugeordnet werden.

**Nutzen:** Der Nutzen der Systematik liegt in der Möglichkeit, durch eine Klassifizierung in Teile- und Versorgungsklassen und durch die durchgängige Ableitung von Versorgungsprozessen in einer einfachen Konfigurationslogik zu planende Neuteile schnell in die Lieferkette zu integrieren und bestehende Lieferbeziehungen zu optimieren. Die erarbeitete „logistische Beregelung“ stellt somit für jedes zu planende Teil ein Regelwerk dar, in dessen Schranken ein Versorgungsprozess genauer ausgestaltet ist.

**Fazit:** Bestehende Planungsmethoden zur Neu- und Umplanung von Versorgungsprozessen insbesondere in der Automobilherstellung lassen sich für einen effektiven Einsatz in der Baumaschinenherstellung als Grundlage gut verwenden.

Die Systematik kann zur Definition und Einordnung von Artikeln in Komponentenklassen herangezogen werden und leistet insbesondere zur Identifikation und Zuordnung aus logistischer Sicht ausschlaggebender Kriterien und Ausprägungen gute Dienste.

Neben der Optimierung der Prozessgüte für Zulieferprozesse spielt auch die Ausgewogenheit und Synchronität von dimensionierten Kapazitäten eine wichtige Rolle in der Netzwerksystematik.

### 3.2.1.7 Dynamische Simulation und Optimierung von Lieferantenkapazitäten

Im Rahmen der Untersuchungen im BAU-MO 2008-Projekt bei den Herstellern und Lieferanten wurde das Ziel einer engeren Synchronisation von Kapazitäten festgelegt. Ein wichtiger Zwischenschritt dazu ist die Abbildung und Bewertung der Dynamik in der Lieferkette für eine komplexe Baumaschine. Um Fertigungs- und Montagekapazitäten in einem teilweise turbulenten Umfeld aufeinander abstimmen zu können, ist es notwendig, die zeitliche Dynamik in einem Bewertungsmodell zu berücksichtigen. Statische Methoden und Prozessplanungswerkzeuge können aufgrund ihrer Architektur und Systematik das Optimum oft nur auf Basis von Mittelwerten oder Extremwerten auslegen. Aus diesem Grund wurde unter Zuhilfenahme bereits fest etablierter objektorientierter Simulationswerkzeuge von *Siemens PLM – Plant Simulation* eine angepasste Lösung für die Netzwerkgestaltung entwickelt.

#### 3.2.1.7.1 Anforderungen

Die Simulationsfunktion soll die Kapazitätsverteilung verschiedener Wertschöpfungspartner bewerten können. Dabei sollen insbesondere unterschiedliche Netzwerkszenarien in Bezug auf die logistischen Zielgrößen im Netzwerk untersucht und verbessert werden können.

Die Leistungsfähigkeit eines Liefernetzes wird nicht nur an der Lieferfähigkeit der Vormaterialien gemessen, sondern kann anhand der wichtigsten logistischen Zielgrößen im simulierten Zeitverlauf bewertet werden.

Somit werden bspw. dynamische Kapazitätsengpässe entlang der Lieferkette frühzeitig identifiziert,<sup>42</sup> und es können vor einer negativen Wirkung auf ein logistisches Ziel Verbesserungsmaßnahmen überprüft und eingeleitet werden.

Eingriffe in die Kapazitäten auf Standort- und Prozessebene können im Hinblick auf die Zielgrößen Durchlauf- und Lieferzeit von Aufträgen, Bestand, Auslastung und

---

<sup>42</sup> Eine frühzeitige Identifikation kann in dem Zusammenhang auch bedeuten, dass Engpässe vor dem eigentlichen Eintritt erkannt werden.



Termintreue genauer bewertet werden. Die Entscheidungssicherheit für Investitionen wird dadurch erhöht. Konkret sollen folgende Fragestellungen im Anwendungsfall durch die Lösung beantwortet werden können:

- Wie verhalten sich die Liefer- und Durchlaufzeiten bei alternativer Verteilung von Fertigungs- und Montagekapazitäten im Liefernetz?
- Welchen Einfluss haben einzelne Versorgungsprozesse kritischer Lieferanten auf die Durchlaufzeiten in der Montage?
- Welches Fehlteilrisiko ist mit einer bestimmten Netzwerk-Konfiguration verbunden?
- Welche Entlastungen sind durch eine Erhöhung oder Absenkungen von Kapazitäten in Zukunft zu erwarten?

#### 3.2.1.7.2 Konzept

Das Konzept basiert auf einer iterativen Anpassung der Kapazitäten im Liefernetz. Hierzu ist in einem ersten Schritt das Modell aus der Systemlast, gebildet auf Basis von Prognoseinformationen über Stückzahlen und Variantenverteilung zu speisen und das Produktmodell in der Simulationsumgebung anzulegen.

Das Modell wird ergänzt durch die Netzwerkkonfiguration, d.h. die Quellen, Kanten und Senken des logistischen Modells einer Lieferkette. Diese Eingangsdaten stammen bestenfalls aus bestehenden betrieblichen Informationssystemen<sup>43</sup> oder resultieren aus einer systemgestützten Auslegung der Logistikstruktur<sup>44</sup> (siehe Abbildung 70).

---

<sup>43</sup> bspw. Vertriebsforecast oder Planaufträge in einem ERP-System

<sup>44</sup> bspw. aus der Logistik-Gestaltung in einem IT-Werkzeug analog 4flow vista o.ä.

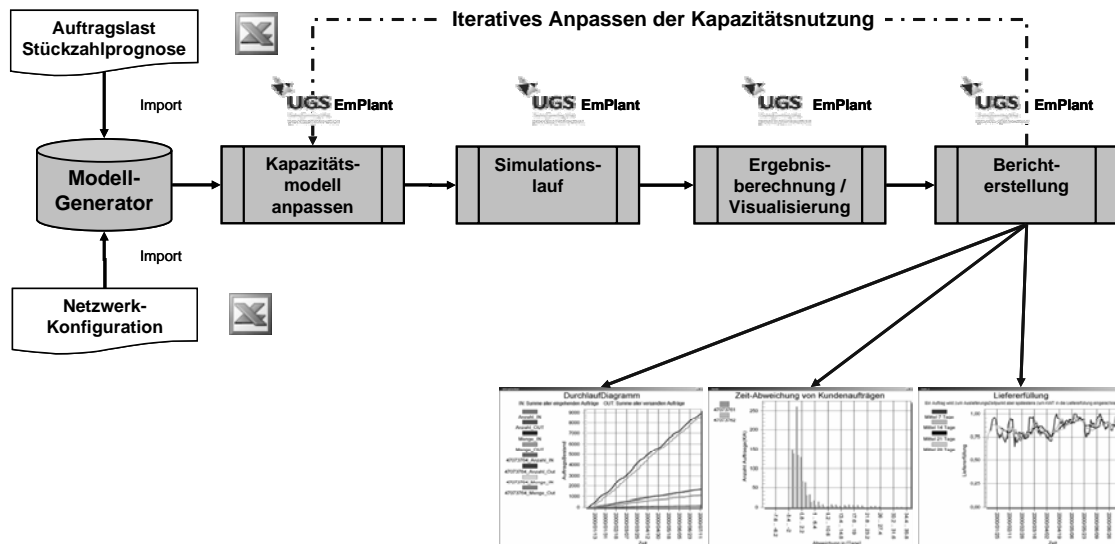


Abbildung 70: Grobkonzept für den Ablauf der Kapazitätssimulation

Die Anpassung des Kapazitätsmodells eines Herstellers oder eines Lieferanten erfolgt direkt in der Simulationsumgebung. So können in den Kapazitätsmodellen (Knoten) Bearbeitungs- und Rüstzeiten, sowie Schichtmodelle parametrisiert werden.<sup>45</sup> Ebenso wird im Knoten die Kapazität definiert, die für die Herstellung des zu bewertenden Artikels von bestimmten Lieferanten zu Verfügung steht.

Die Ergebnisberechnung während und nach einem Simulationslauf erfolgt auf Basis vordefinierter Leistungs- und Durchlaufkennzahlen. So können in jedem Netzwerkknoten mit der gleichen Bewertungslogik Informationen zum individuellen Leistungsbeitrag zur Lieferleistung und die Auswirkungen auf die Gesamtleistung ermittelt werden. Der Hersteller hat bspw. die Möglichkeit, gezielt kritische Lieferanten<sup>46</sup> durch das temporäre „Hinzuschalten“ von Mitlieferanten zu entlasten oder die Beschaffungsstrategie anzupassen, bevor kritische Fehlteilsituationen und Versorgungsengpässe auftreten können.

<sup>45</sup> somit werden alle logistischen Merkmale erfasst, die im Zeitverlauf der Simulation Einfluss nehmen werden.

<sup>46</sup> kritische Lieferanten in der Branche sind in dem Zusammenhang Lieferanten für Schlüsselteile, deren Versorgung lieferzeitrelevant ist.

### 3.2.1.7.3 Anwendung

Die Anforderungen wurden im Simulationswerkzeug *Plant-Simulation* von *Siemens PLM* umgesetzt. Zum Betrachtungsumfang gehören alle Kernprozesse und die wichtigsten Lieferanten bei der Herstellung einer Fahrmischerbetonpumpe.

Die Eingangsdaten des bestehenden Zustands stammen in der Pilotanwendung aus der Prozessaufnahme und Modellierung des Ist-Liefernetzes in 4flow vista. Für die Generierung des Simulationsmodells wurden die Standort- und Transportebene und die Prozessebene für die Einzelstandorte verwendet. Wesentliche Eingangsdaten für die anschließende Simulationsanwendung bilden die Vorgänger-Nachfolger-Relationen auf Standort- und Prozessebene sowie die Bearbeitungszeiten und zu Verfügung stehenden Wochenkapazitäten.

Ergänzt wurde das Simulationsmodell mit den Daten bezüglich Schichtmodellen, Arbeitszeiten, Übergangszeiten und Puffergrößen für jeden betrachteten Standort (siehe Abbildung 71).

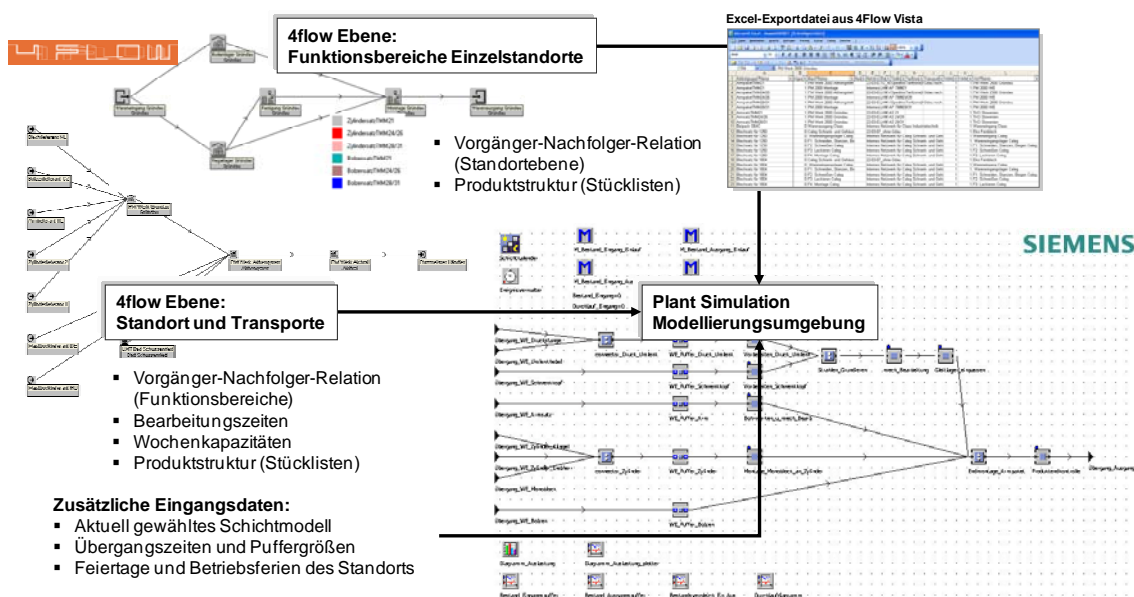


Abbildung 71: Vorgehen zur Erstellung des Simulationsmodells

Das Vorgehen in der Modellerstellung wurde durch die Übernahme der Modellparameter aus externen Anwendungen zwar vereinfacht, jedoch sind Umrechnungen, Ergänzungen und Verifizierungen von Eingangsgrößen aufgrund unterschiedlicher Datenarchitekturen nicht zu vermeiden. Erst nach der Modellvalidierung sind die Ergebnisse aus den Simulationsläufen verwertbar.

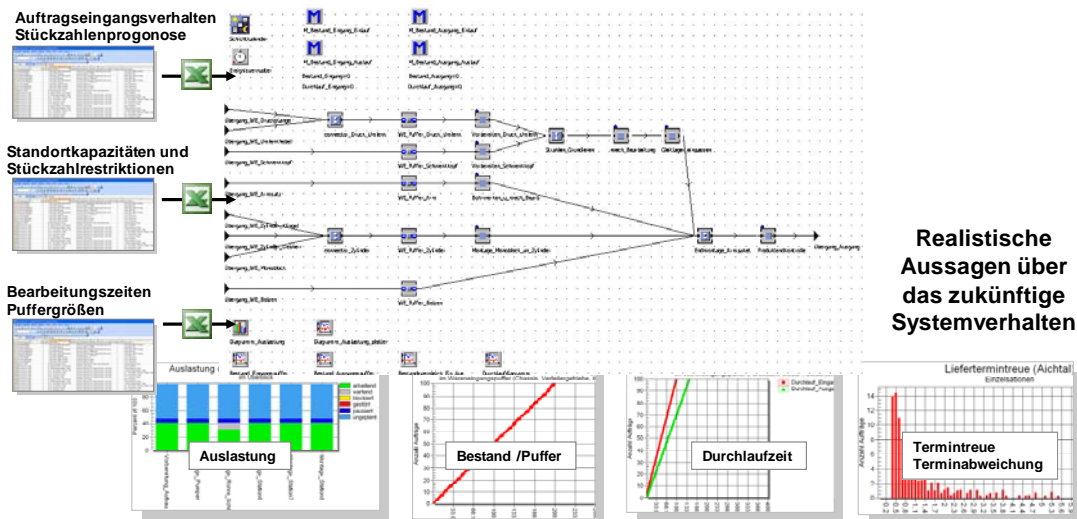


Abbildung 72: Dynamische Bewertung logistischer Zielgrößen im Netzwerk

Die realisierte Pilotanwendung zeigt auf, dass für gemeinsame Betrachtungen eines großen Liefernetzes eine dynamische Bewertung der wichtigsten logistischen Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit, Termintreue und Auslastung im Zeitverlauf einer Jahresperiode gut möglich ist (siehe Abbildung 72).

#### 3.2.1.7.4 Nutzen

Der Nutzen der Anwendung liegt in der Möglichkeit, komplexe Wirkbeziehungen in Zulieferbeziehungen in Hinblick auf die Erreichung logistischer Ziele zu bewerten. Die Devise lautet: „Agieren statt Reagieren“. So können bspw. mit Hilfe der Simulationsanwendung Versorgungsrisiken besser bewertet werden.<sup>47</sup>

Die Anwendung generiert einen Zeitvorsprung für die Hersteller und Lieferanten, da sie das Ergebnis von möglichen Szenarien in der Zukunft zeitlich vorwegnimmt. So können kritische Betriebszustände bei den beteiligten Unternehmen vermieden werden und mögliche Kapazitätsanpassungen frühzeitig eingeleitet werden. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund relativ langer Reaktionszeiten für Kapazitätsanpassungen in der Baumaschinenherstellung relevant.

<sup>47</sup> Dies umfasst insbesondere die Möglichkeit, Fragestellungen anhand von mehrdimensionalen Bewertungskriterien zu beantworten.

### 3.2.2 Realisierte Beispielanwendungen bei den Projektpartnern

#### 3.2.2.1 Neugestaltung der Auftragsabwicklung bei der *Putzmeister Concrete Pumps GmbH*

##### 3.2.2.1.1 Optimierung der technischen Auftragsbearbeitung

Die Prozesskette von der Auftragsannahme bis zur Auslieferung wurde für den Maschinentyp PUMI<sup>®</sup> (Pumpe mit Mischer) untersucht und optimiert. Dabei wurden alle Bereiche im Unternehmen betrachtet sowie Lieferantenbeziehungen intensiviert und optimiert. Am Anfang der Kette steht die Einbeziehung des Angebotswesens in die Auftragserstellung, bei der eine bessere Softwareintegration den Aufwand reduzierte. Weiterführend in der Auftragserstellung wurden Maßnahmen definiert, um die Abstimmung zwischen Vertrieb und technischer Auftragsbearbeitung mit Blick auf Aufwandsreduzierung frühzeitig zu erreichen. Bei der technische Auftragsbearbeitung werden vermehrt Standardaufträge definiert und abgewickelt, was den Zusatzaufwand in der Entwicklung auf ein Mindestmaß reduzierte. Ebenso wurde die Auftragsbearbeitung im Mittel zeitlich nach hinten verschoben, so dass die Bearbeitung zeitnaher zur Produktion erfolgt und somit Nachträge vermeiden hilft.

Einen weiteren Vorteil ergab die Umstellung auf Modulschaltpläne, so dass die Variantenzuordnung pro Kommission vereinfacht wird. Die verstärkte Verwendung von optimierten und abgestimmten Modulen auch bei den Baugruppen brachte Einsparungen bei der individuellen Variantenzuordnung durch mehr Standardisierung. Als weiterer Aspekt wurde die leichte Nachrüstbarkeit berücksichtigt.

Zur besseren Darstellung von Neukonstellationen wird vermehrt auch für den Vertrieb mit 3D-Modellen gearbeitet, um dem Kunden frühzeitig seine Wünsche darzustellen. Insbesondere bei komplizierteren Aufbauten werden Probleme rechtzeitig erkannt.

Im Bestellwesen bezüglich der Zulieferer wurde verstärkt auf digitalen Datenaustausch gesetzt, um Doppelarbeit und Fehler bei der Informationsweitergabe zu vermeiden. Die Lieferanten im Netzwerk rücken dadurch näher zusammen und werden reaktionsschneller. Der Gesamtprozess wurde somit optimiert und beschleunigt.

### 3.2.2.1.2 Optimierung und Neugestaltung der Montageprozesse bei der *Putzmeister Concrete Pumps GmbH*

Die Linienmontage als Ersatz für Dockmontage mit signifikanter Verkürzung der Durchlaufzeit wurde wie in Abbildung 73 zu sehen eingeführt. Durch die Verwendung eines Schienensystems sowohl für die Aufbaueinheit als auch für die Bewegung des gesamten LKW wurde die Taktung mit einem einheitlichen Transportsystem ermöglicht. Dieser Prozess wurde auch für andere Produktbereiche angewendet. Die enge Zusammenarbeit mit den Zulieferern brachte optimierte Schnittstellen für den Montageablauf.

Mit Hilfe der Änderung der Anbauteile beim vorgelagerten Tochterunternehmen wurde auch die Linienfertigung im Hauptwerk vereinfacht.

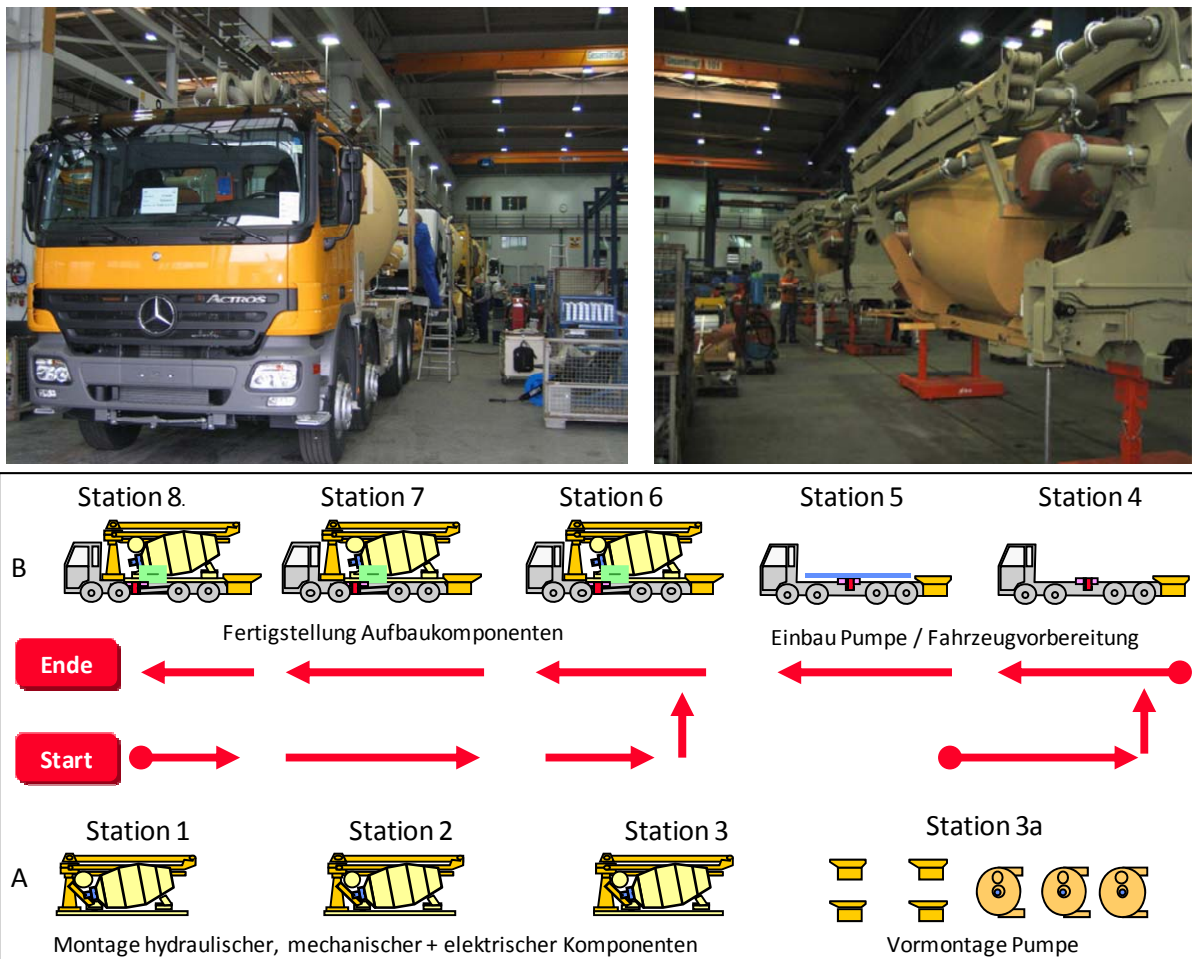


Abbildung 73: Neue PUMI®-Montage der Putzmeister Concrete Pumps GmbH mit Linienmontage

Durch Umkonstruktion der Variantenanbauteile konnte die Montage wesentlich vereinfacht werden, da keine Schweißarbeiten mehr notwendig sind. Weiterhin wurden Montageteile, insbesondere Kunststoffteile und standardisierte Aluminiumprofile für die Fahrmischerpumpe konzipiert, welche ohne zusätzliche Oberflächenbearbeitung

als Endmontageteile an das lackierte Produkt angebaut werden. Der Effekt dabei ist die Reduzierung des Demontageaufwandes dieser Bauteile, da diese für die Lackierung sonst wieder zu demontieren wären.

Die neue PUMI<sup>®</sup> unterscheidet sich deutlich von seinem Vorgänger und verfügt über neueste Technologien in Steuerung und Hydraulik. Die Kundenindividuelle Linienmontage des PUMI<sup>®</sup> wird von einer SAP-Steuerung überwacht. Sämtliche Informationen zu Fertigungsstatus und Materialversorgung sind permanent abrufbar. Die optimierte Fertigungssteuerung garantiert einen reibungslosen Produktionsprozess.

Die *Putzmeister* Linienmontage ist nach dem Prinzip verketteter Montagestationen aufgebaut. Dabei werden die Mischermodule auf 3 Stationen in der Linie A vormontiert. In Station 4 und 5 erfolgt die Anpassung des Fahrzeugs für den Mischeraufbau sowie der entsprechende Einbau von hydraulischen Systemmodulen. Auf den verbleibenden Stationen werden auftragsspezifische Komponenten angebaut und die gesamte Pumpenelektrik mit der der Fahrzeugelektrik verknüpft und installiert.

#### 3.2.2.1.3 Optimierung der Beschaffungsprozesse bei *Putzmeister*

Im Bereich der Logistik wurden die internen und externen Transportabläufe intensiver betrachtet und optimiert. International gehen die Bestrebungen einerseits in Richtung Transportvermeidung durch Lokalisierung von Komponenten, das heißt den Aufbau von lokalen Zulieferern. Für die im Stammwerk und bei den Tochterunternehmen produzierten Kernkomponenten ist andererseits ein weltweites Liefernetzwerk entstanden, welches je nach Kapazität und Transportaufwand koordiniert wird.

Um eine höhere Produktionssicherheit zu erzielen, wurden bei steigendem Materialbedarf neue Versorgungskonzepte für die Montagelinien umgesetzt. Für die Linienmontage führte die Verwendung von 2-Behältersystemen (KANBAN) zu besserer Effektivität. Die weltweite Ersatzteilversorgung soll zukünftig zentral über den Standort Aichtal koordiniert werden und regionale Lager nur noch A-Teile in möglichst geringem Umfang vorhalten.

Dabei sind für den Standort Aichtal die Varianten Lagererweiterung und Logistikdienstleister (LDL) verfolgt worden. Der Vorteil beim LDL ist die variable Erweiterungsmöglichkeit des Flächenbedarfs, welcher bei Kapazitätsschwankungen leichter angepasst werden kann.

Eine Analyse der Anlieferlosgrößen, Verpackungseinheiten und Ladehilfsmittel ergab eine neue Verpackungsverordnung, die in Zusammenarbeit mit den Zulieferern eine höhere Qualität des Anlieferungszustandes und somit Beschädigung und Nacharbeiten reduziert.

### **3.2.2.2 Neugestaltung der Auftragsabwicklung und Montage bei der *Liebherr Mischtechnik GmbH***

Die Schwerpunkte der Aktivitäten bei der Liebherr Mischtechnik GmbH lagen in der Auftragsabwicklung und in der Montage. Durch die umgesetzten Maßnahmen konnten die Durchlaufzeiten in der Auftragsabwicklung und für die Generierung der Bestände im Netzwerk deutlich gesenkt werden. Im Folgenden werden diese beiden Themenschwerpunkte detailliert dargestellt:

#### **3.2.2.2.1 Frühzeitige, durchgängige Nutzung der Auftragsdaten**

Im Rahmen des BAU-MO-Projektes wurde eine Lösung entwickelt, um die Auftragsdaten aus einem Produktkonfigurationstool in Abhängigkeit des Standardisierungsgrades der Baugruppen bis zum Lieferanten automatisiert weiterzugeben. Dadurch konnten die Durchlaufzeiten der Standardkomponenten in indirekten Bereichen bis zu 80-90% reduziert werden. Diese Reduzierung der Durchlaufzeit zwischen Auftragsannahme und Produktionsstart ermöglicht es, viele bisher kundenanonym auf Prognosebasis beschaffte variantenreiche Artikel zukünftig auftragspezifisch zu beschaffen. Dadurch lassen sich sowohl Bestände und als auch Fehlteile in der Montage reduzieren.

Durch varianten- und konfigurationsgerechte Gestaltung der Produktdatenstruktur in einer Baukastensystematik konnten die Anzahl der Teilevarianten gesenkt und der Aufwand zur Variantenbeschreibung (Variantenberegelung) deutlich reduziert werden.

Die digitale Weitergabe der Auftragsdaten nach der Auftragskonfiguration über das PDM-System bis zum ERP-System ermöglicht es, die Datenqualität und –konsistenz zu erhöhen und mehr Transparenz in allen Ebenen der Prozesskette schaffen.

Einsatzbereich und Funktionsumfang eines Produktkonfigurationstools konnten im Rahmen dieses Projektes deutlich erweitert und somit die Prozessstandardisierung in der Auftragsabwicklung erhöht werden.



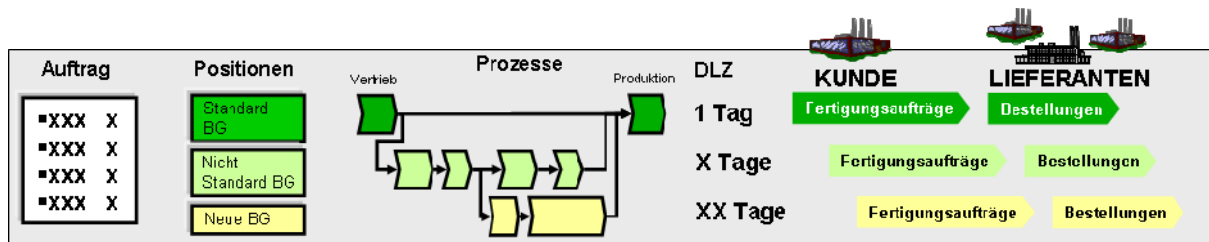


Abbildung 74: Durchgängige Nutzung der Auftragsdaten in der Prozesskette

Bereits erzielte Zeitvorteile werden in der Kette weitergegeben. Durch die sofortige Weitergabe der Auftragsdaten erhalten die Lieferanten der kundenspezifischen Artikel die Bedarfsinformationen deutlich früher und können dadurch auch eigene Bestände optimieren. Durch dieses Vorgehen können wertvolle Kapazitäten im Netzwerk möglichst für konkrete Aufträge genutzt, die Bestandsreichweiten sowie die Kosten der Bestandsführung und Kapitalbindung reduziert werden.

#### 3.2.2.2 Flussorientierte Fertigung von Fahrmischern

Im Rahmen seiner Expansionsbemühungen strukturiert Liebherr seine Fahrmischerfertigung am Standort Schussenried neu. Die bisher praktizierte Standmontage wurde in zwei Projektstufen durch eine flussorientierte Fertigung ersetzt.

Ziel der Fertigungsumstellung war eine erhebliche Produktionssteigerung im Bad Schussenrieder Werk. Die Geschäftsführung plant mit diesem neuen Produktionssystem eine Reduzierung der Durchlaufzeit für Fahrmischer um 80% in der Endausbaustufe.

Einer der wichtigsten Effekte der Neuausrichtung im Sinne einer Fließfertigung ist die Rationalisierung der Arbeitsabläufe. Bisher unproduktive Nebenzeiten für die Bereitstellung der Komponenten und Bauteile werden reduziert. Im Vergleich zur Standmontage werden nach dem Prinzip „all in one“ alle Produktionsprozesse in einem Hallenbereich konzentriert und dadurch Wege- und Transportzeiten deutlich reduziert. Bei der Umgestaltung der Fertigungsprozesse konnten die Projektbeteiligten Erfahrungen aus der Neugestaltung der Kranmontage nutzen.

Zusätzlich wurde im Zuge der Neugestaltung der Produktion eine EDV-gestützte Betriebsdatenerfassung eingeführt. Diese Maßnahme ermöglicht es den Arbeitsfortschritt zeitnahe zurückzumelden und dadurch eine hohe Transparenz des Fertigungsfortschritts zu ermöglichen.

Integriert wurden Ebenfalls modernste Fertigungstechnologien. Das zeigt sich bei den Schweiß- und Schneidverfahren sowie bei den Beschichtungsverfahren. Wichtig waren auch Maßnahmen im Sinne der Umweltverträglichkeit von Prozessen und den verwendeten Produkten. Unter Anderem werden hier Verfahren für die Wärmerückgewinnung, energiesparendes Lackieren, die Verwendung von Wasserlacken und die Anwendung effizienter Wasseraufbereitungssysteme eingesetzt. Die flussorientierte Fertigung und Montage von Fahrmischern umfasste die Umgestaltung der Bereiche Trommel- und Hilfsrahmenbau, Strahl- und Grundlinie sowie Vormontage. Zusätzlich wurde in einer zweiten Ausbaustufe die Decklackierung, die Endmontage neu ausgestaltet (siehe Abb. 75).



*Abbildung 75: Die neue Montagelinie für Fahrmischer*

Bei der Auslegung der Fertigungsabläufe und Kapazitäten waren nicht weniger als 156 Trommelvarianten mit 58 Hilfsrahmenvarianten zu kombinieren. Alle möglichen Varianten mussten in ihren Arbeitsgangfolgen über Zeitstudien ermittelt werden und mit den zugehörigen Fertigungsakten in das Gesamt-Produktionslayout eingeplant werden. Die so entstandenen Layoutvarianten wurden nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet. Mittels Taktzeitabgleich wurde zunächst ein ungehin-

derter Fertigungsprozess sichergestellt. Als zusätzlicher Zielparameter konnte gleichzeitig auch eine optimale Kapazitätsauslastung erreicht werden.

Neben solchen prozesstechnischen und ökonomischen Erwägungen hat Liebherr auch in innovative Fertigungstechnologien investiert. Ein Beispiel dazu ist die neue Strahl- und Grundierlinie. Bei der Auslegung waren die Energiekosten auch aufgrund der CO<sub>2</sub>-Problematik zu optimieren. Die Luftmenge, die eine zu lackierende Fahrmi-schertrummel während des Lackiervorgangs umströmt, ist z.B. bei einer horizontal liegenden Trommel dreimal so hoch wie bei einer hängend lackierten. Allein durch diese Veränderung der Trommellage konnte Liebherr bei der Lackierung mehr als 60% der Energiekosten einsparen.

Als Transportsystem für die Trommeln wurde ein „Power and Free“-System mit einer Nutzlast von maximal 3 t gewählt, ausreichend für die Stückgewichte der Fahrmi-schertrummel und des Hilfsrahmens. Das „Power and Free“-System ist eine hängen-de, schienengebundene Kettenförderanlage, bei der die zu fördernden Teile, hier die Mischertrummel, beliebig aus dem Förderprozess ausgekoppelt werden können, wenn der Arbeitstakt dies erfordert.

Damit ist eine automatische Taktung von der Strahlanlage bis zum Trockner möglich. Zudem ermöglicht dieses System über zusätzliche Drehmodule auch die Drehung und Positionierung der Werkstücke in der Strahl und Grundieranlage.

Das neue Fertigungskonzept besteht nun in 42 direkt gekoppelten Prozesstakten. Diese Anzahl ist vergleichbar mit den komplexen Fertigungsanlagen der Automobil-industrie.

### **3.2.2.3 Grundlegende Veränderungen in der Mischergetriebemontage und im innerbetrieblichen Warenverkehr bei der *ZF-Passau GmbH***

Um steigenden Bedarfsmengen und Forderungen nach kürzeren Lieferzeiten gerecht zu werden, wurde als Pilotprojekt die Montage von Mischergetrieben komplett um-gestellt. In 4 Workshops wurden nach der Analyse des Ist-Zustandes die notwendi-gen Verbesserungsschritte von der Bestellannahme bis hin zur Auslieferung an den

Kunden erarbeitet. Das Workshop-Team bestand aus nur 10 Mitarbeitern, die meisten direkt mit der Montage beschäftigt waren. Wesentliche Verbesserungsschritte am neuen Band waren:

- angetriebenes Band (vorher nicht getrieben)
- Integration des Verpackungsprozesses in den Montagetakt, somit sind die Aggregate direkt nach der Montage versandbereit
- Neues Montagelayout (Flächenkrane, Anbindung der Vormontageplätze, Supermarkt für Direktbelieferungsteile)
- Bestands- und Flächenreduzierung durch Direktbelieferung
- C-Teil-Management (Schüttgutteile von geringem Wert)
- Reduzierung von Such- und Handlingsaufwand durch zugewiesene Bereitstellfläche im Versandlager
- Bestands- und Flächenreduzierung durch typbezogenen Abruf von Verpackungsmaterial



Abbildung 76: Das neue Montagekonzept für die Mischergetriebe

Werksinterne logistische Maßnahmen bewirken einen schnelleren Materialfluss und damit eine verkürzte Durchlaufzeit. Die Erhöhung der Ship-to-Line-Quote auf 60 % des Volumens machte mehrheitlich eine unmittelbare Bereitstellung am Montageband (getaktete/synchronisierte Materialandienung) erforderlich. Die Öffnungszeiten für Wareneingänge (vorher 1-schichtig, Mo. – Do. 07.00 – 15.45 Uhr, Fr. 07.00 – 12.15 Uhr) waren dadurch nicht mehr zeitgemäß und wurden der 2 – 3 schichtige Produktion in der Montage angepasst. Dadurch konnten auch Sonderaktionen eliminiert werden. Ein gerichteter Verkehrsfluss (Einbahnsystem) zur Steuerung von Lkw wurde installiert. Über das installierte „Hofleitsystem“ lassen sich alle Wareneingänge bis hin zum verbrauchenden Montageband monitoren und über ein Kennzahlensystem analysieren.

#### **3.2.2.4 Prozessoptimierung bei *CLAAS Industrietechnik GmbH***

*CIT* hat im Zuge des BAU-MO 2008-Projektes die komplette Werkstruktur tiefgreifend verändert, um die Reaktionszeiten zu reduzieren und um wettbewerbsfähig produzieren zu können. Ausgehend von der Planung eines idealtypischen Produktionswerks wurden optimierte Abläufe in die in der *CIT* vorhandenen Räumlichkeiten eingearbeitet. Dem Materialfluss folgend wurden die Produktionsbereiche als Vorlieferanten der Montage positioniert. Das Material kommt im Fischgrätenmuster von außen quer zum Materialfluss zu den einzelnen Produktionseinheiten.



Abbildung 77: Werkstruktur der CIT

Im Zuge dieser werksübergreifenden Werkstrukturplanung (WSP) wurden alle für den Prozess der Getriebeherstellung erforderlichen Prozesse und Arbeitsplätze im Unternehmen optimiert. Dabei blieb kein Arbeitsplatz auf altem Platz oder in alter Ausführung erhalten.

Angefangen mit der für alle Bereiche eingeführten grundsätzlichen Trennung der Wertschöpfung von der Logistik wurden die folgenden für die Produktion des Getriebes betroffenen Bereiche optimiert:

- Gehäusebearbeitung
- Verzahnung
- Wellenbearbeitung
- Montage
- Farbgebung
- Logistik einschließlich Lagerhaltung

Diese einzelnen Produktionsbereiche wurden sukzessiv auf in Richtung d Idealzustand umgestellt. Zusammen mit den Mitarbeitern aus dem jeweiligen Bereich wurde

anschließend feinoptimiert bis die Abläufe den Wünschen der Planer und der Mitarbeiter entsprachen.

Das Ergebnis dieser WSP-Maßnahmen ist eine deutlich schnellere Reaktionszeit und eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit der *CIT* bei der Produktion von Getrieben (aber auch den anderen in diesen Produktbereichen unter diesen Bedingungen gefertigten Produkte wie z.B. Achsen und Hydraulikventile).

Dies wurde erreicht durch:

- verbesserte Abläufe und klare Prozesse
  - ⇒ effektivere Arbeitsleistung
  - ⇒ erhöhter Ausstoß
  - ⇒ Kostenreduzierung
- aufgeräumte, saubere und hellere Arbeitsplätze
  - ⇒ alles an seinem Platz
  - ⇒ schneller Zugriff
  - ⇒ Übersichtlichkeit
- reduzierte Fehlermöglichkeit
  - ⇒ Verbesserte Qualität
- Einbeziehung der Mitarbeiter in den Optimierungsprozess
  - ⇒ motivierte Mitarbeiter
  - ⇒ Identifizierung mit dem Produkt
- kontinuierlich laufender Optimierungsprozess
  - ⇒ ständige Verbesserung der Prozesse
  - ⇒ verbesserte Wettbewerbsfähigkeit

#### 3.2.2.4.1 Durchgängige Prozessgestaltung in der Auftragserfüllung bei der *CLAAS Industrietechnik GmbH*

In der *CIT* wurde aber nicht nur die Produktion optimiert. Auch die gesamte Prozesskette von der Akquise bis zur After-Sales Betreuung wurde betrachtet und angepasst.

Diese aktuellen Prozesse sind im Prozessentwicklungshandbuch durch das Qualitätsmanagement (QM) zusammengefasst und detailliert beschrieben. Der QM-Bereich überprüft sporadisch in Zuge der Auditierung die Einhaltung dieser Prozesse.

Der bei *CLAAS* gruppenweit eingeführte CPDP-Entwicklungsprozess wurde auf die Kunden- und *CIT*-Belange angepasst, wobei hier in der *CIT* insbesondere die Entwicklungen der Kunden außerhalb der *CLAAS*-Gruppe im Prozess berücksichtigt wurden. Hierzu zählt u.a. auch *Putzmeister*.

Im Folgenden sind 3 Beispiele aufgezeigt, die direkt mit dem Kunden *Putzmeister* bzw. dem Produkt des Kunden, dem Getriebe G64C, zusammenhängen. Hier sind aufgeführt:

- Montage
  - Standmontage
  - Fließmontage
- Prozessoptimierung Pumpenanbauflansche
- Prozessoptimierung Getriebeentwicklung

### **Optimierung der Montage:**

Neben der bekannten Standmontage, die auch heute noch bei kleinen bis mittleren Stückzahlen üblich ist, wurde ein Großteil der Montagearbeitsplätze die Bauteile in größeren Stückzahlen montieren auf Fließmontage umgestellt.

### **Standmontage:**

Auch die Standmontage-Arbeitsplätze wurden im Detail optimiert. Die Materialversorgung erfolgt auch hier über Kanban-Systeme, die Bereitstellung der Montagewerkzeuge und -hilfsmittel wurde auch hier optimiert, so dass selbst diese Arbeitsplätze deutlich flexibler, effektiver und damit wettbewerbsfähiger wurden. Auch das Seriengetriebe für *Putzmeister* das Pumpenverteilergetriebe G64C wird auf einem optimierten Standarbeitsplatz montiert.



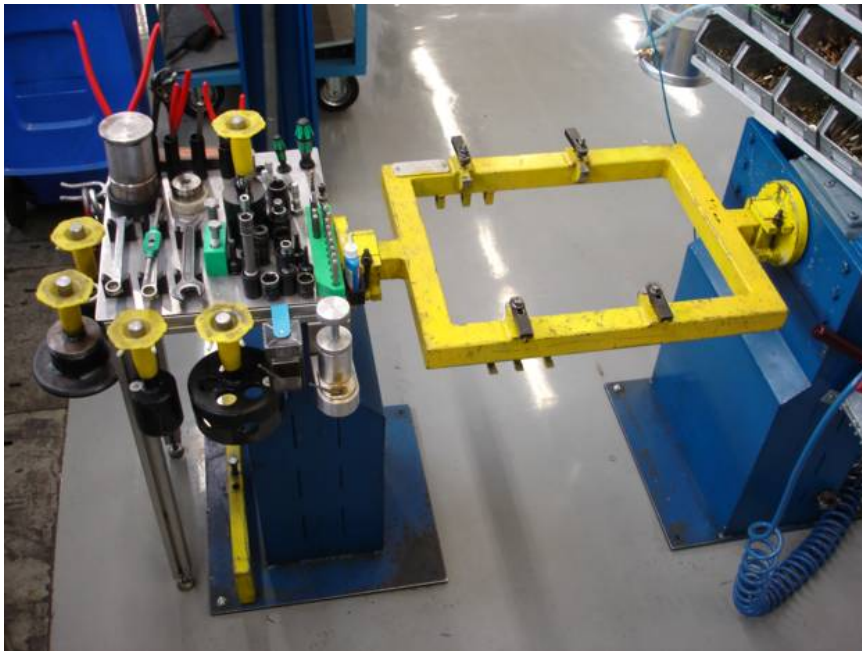


Abbildung 78: Montageplatz Putzmeister-Verteilergetriebe mit Werkzeugbereitstellung



Abbildung 79: Materialbereitstellung am Montageplatz Putzmeister-Verteilergetriebe

Am Ende des Prozesses werden die G64C Getriebe auf dem direkt am Montageplatz positionierten Prüfstand auf Funktionsfähigkeit getestet.



*Abbildung 80: Putzmeister-Verteilergetriebe G64C nach erfolgreichem Prüflauf*

Nach dieser dokumentierten Prüfung werden die G64C-Getriebe direkt in die schon bereitstehende Transportkiste geladen und seewasserfest verpackt für den Übersee-Transport vorbereitet.

### **Fließmontage:**

Die Fließmontage wurde in Form von ovalen Rondellen ausgeführt. Diese Rondelle wurden so gestaltet, dass die Getriebe in Hängewagen zur nächsten Arbeitsstation bzw. dem nächsten zu montierenden Bauteil geschoben werden. An der Stelle, wo das nächste Bauteil montiert wird, liegen alle Werkzeuge und Montagehilfsmittel griffbereit. Letzte Station ist die Funktionsprüfung des Bauteils.



Abbildung 81: Rondell mit Fließmontage Schaltgetriebe

Für den Weitertransport der Getriebe wurden teilweise eigene Rollwagen mit spezielleinsätzen angeschafft, so dass die Getriebe zur nächsten Montagestation, der Achsmontage gefahren werden können.

Die Rondelle für die Vorbaugruppen (Beispiel Achsgetriebe und Schaltgetriebe für die Achsen der selbstfahrenden Erntemaschinen) sind logistisch optimal im sog. Fischgrätenmuster quer zur Linienmontage der Achsmontage angeordnet.

Auch beim *Putzmeister*-Getriebe G64C wurde rechnerisch geprüft, ob eine Fließmontage des Verteilergetriebes sinnvoller als die aktuelle Standmontage ist. Da der gerade neu eingerichtete Standmontageplatz aber deutlich weniger Platz beansprucht als ein Rondell, bleibt die gerade neu gestaltete Standmontage noch so lange bestehen, bis aus Kapazitätsgründen ein zweiter Arbeitsplatz notwendig wird.

#### 3.2.2.4.2 Prozessoptimierung Pumpenanbauflansche:

Je nach Land und/oder Kundenwunsch werden unterschiedliche Hydraulikpumpen eingesetzt. Dies hat zur Folge, dass je nach eingesetzter Hydraulikpumpe für das Getriebe auch unterschiedliche Pumpenanbauflansche erforderlich sind. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem Adapterflansch und einer Zwischenwelle.

Die Pumpenanbauflansche wurden bis vor der Prozessoptimierung je nach Bedarf einzeln geordert. Entsprechend liefen die Bestellungen zu den einzelnen Bauteilen in Kleinstmengen und sehr langen Beschaffungszeiten.

Im Zuge der Prozessoptimierung wurden die vielen Einzelbestellungen des Kunden *Putzmeisters* zu den verschiedenen Pumpenanbauflanschen (ABS) an dem Verteilergetriebe zur Varianzerzeugung analysiert. Das Ergebnis war eine gezielte Bevorratung der beiden wichtigsten Einzelkomponenten, die erst in der Kommissionierung zu der per Einzelbestellung gewünschten Varianz führt.

Mit 6 bevorrateten Zwischenwellen und 8 bevorrateten Flanschen können heute 10 ABS-Varianten erzeugt werden. Dieses Baukastensystem ist theoretisch auch für weitere Pumpenanbaukombinationen nutzbar.

Diese ganzheitliche Betrachtung diverser Einzelvorgänge war verbunden mit einer besseren Flexibilität und einer damit verbundenen deutlich kürzeren Lieferzeit.

#### 3.2.2.4.3 Prozessoptimierung Getriebeentwicklung:

Als weiteres Beispiel eines durchgängigen Prozesses ist die geplante Getriebeentwicklung eines stärkeren Pumpenverteilergetriebe zu nennen.



Abbildung 82: Putzmeister-Verteilergetriebe G64C in Serie



Dieses neue, größere Getriebe war ursprünglich geplant für höhere Leistungen im Fahr- und Pumpbetrieb. Die grundsätzlichen Abmessungen des größeren Getriebes wurden festgelegt (Getriebeentwurf) und die Kosten für das große Getriebe wurden kalkuliert und angeboten.

Aufgrund der deutlich größeren Abmessungen, der damit exponential teurer werden den Komponenten und der erheblich geringeren Stückzahlen dieses neuen Getriebes gegenüber dem Seriengetriebe G64C wurde dieses Getriebevariante grundsätzlich in Frage gestellt. Es wurde sowohl vom Kunden *Putzmeister* als auch seitens des Lieferanten CLAAS für sinnvoll erachtet, möglichst auch für Fahrzeuge mit höherer Leistung das G64C weiter zu nutzen.

Dafür wird ggf. die bestehende Getriebevariante leicht modifiziert und/oder die Leistung im Pumpenbetrieb elektronisch begrenzt, da die Übertragung höherer Pumpleistungen in erster Linie die Baugröße des Getriebes bestimmt.

Mit dieser Vorgabe wurde untersucht, ob das bestehende Getriebe G64C gegebenenfalls mit Modifikationen weiterhin eingesetzt werden kann.

So könnte durch zusätzliche Bauteile eine zweite Getriebevariante abgebildet werden. Im Idealfall wird diese Varianz in der geforderten Ausführung erst im Bestellabruf des Getriebes erzeugt.

### **3.2.2.5 Neugestaltung der Auftragsabwicklung und Montage bei CALEG**

Parallel zur Realisierung der selbständigen Anlage von Artikelstammdaten von konfigurierten Teilen, beschäftigte sich *Caleg* auch mit der Reduzierung der Durchlaufzeit innerhalb des Unternehmens.

Zielstellung ist eine Reduzierung der Durchlaufzeit, von der Auftragsbestätigung bis zur Lieferung an den Kunden, um 20%.

Mit folgenden Projekten sollte dieses Ziel erreicht werden:

1. Verbesserung des Informationsflusses innerhalb der Firma durch Einführung eines neuen ERP-Systems
2. Reduzierung der Liegezeit und damit der Durchlaufzeit von Aufträgen durch Einführung eines neuen Planungstools zur Auftragssteuerung
3. Erweiterung der Kapazitäten durch den Bau einer neuen Montagehalle für die mechanische Montage

#### 4. Reduzierung der nicht wertschöpfenden Zeiten durch Trennung der Logistik von der Wertschöpfung im Bereich der Montage

Der Start der einzelnen Projekte war der 1.1.2008. Der Abschluss der Projekte ist für das erste Quartal 2009 anvisiert.

##### 3.2.2.5.1 Einführung eines neuen ERP-Systems:

Mit der Einführung von ABAS-ERP besteht die Zielsetzung, möglichst viele Informationen der einzelnen Geschäftsbereiche, zentral zu steuern und zu verwalten. Anders als unsere bisherige Lösung BaaN besteht in ABAS viel stärker die Möglichkeit der Integration. Zielstellung ist es, weg von den ERP-parallelen Excel-Lösungen zu kommen. Damit erhält *Caleg* vollständigere bzw. detailliertere Informationen zu verschiedenen Vorgängen.

### ERP-Nutzen

Zu Ihrem Nutzen: Die schnelle ERP-Einführung, das ausgezeichnete Preis-Leistungsverhältnis, Investitionssicherheit, Plattformunabhängigkeit, Bedienerfreundlichkeit, Flexibilität, Internationalität und Kundenzufriedenheit sind starke Argumente für abas-ERP und abas-Handel.



- [Kurze Einführungszeiten](#)
- [Ausgezeichnetes Preis-Leistungsverhältnis](#)
- [Zukunfts- und investitionssicher](#)
- [Plattformunabhängig: Linux, Unix und Windows](#)
- [Bedienerfreundlich](#)

- [Individuell, flexibel und stets aktuell](#)
- [International und mehrsprachig](#)
- [Zufriedene abas-Anwender](#)

Abbildung 83: ERP-Nutzen [Quelle: ABAS]

##### 3.2.2.5.2 Reduzierung der Durchlaufzeit von Aufträgen durch Einführung eines neuen Planungstools zur Auftragssteuerung

Die Steuerung von Aufträgen ist bei *Caleg* sehr komplexes. Hier ist es nicht mehr möglich, Entscheidungen von Hand abzuschätzen. Neben ABAS wurde deshalb das dazugehörige Planungstool SIMCRON beschafft. Auf Basis eines ereignisorientierten diskreten Simulationswerkzeugs werden die Fertigungsdurchläufe gestrafft und

gleichzeitig optimiert. SIMCRON führt, auf Basis der Dispositionstermine, eine exakte widerspruchsfreie simulative Planungsrechnung durch.

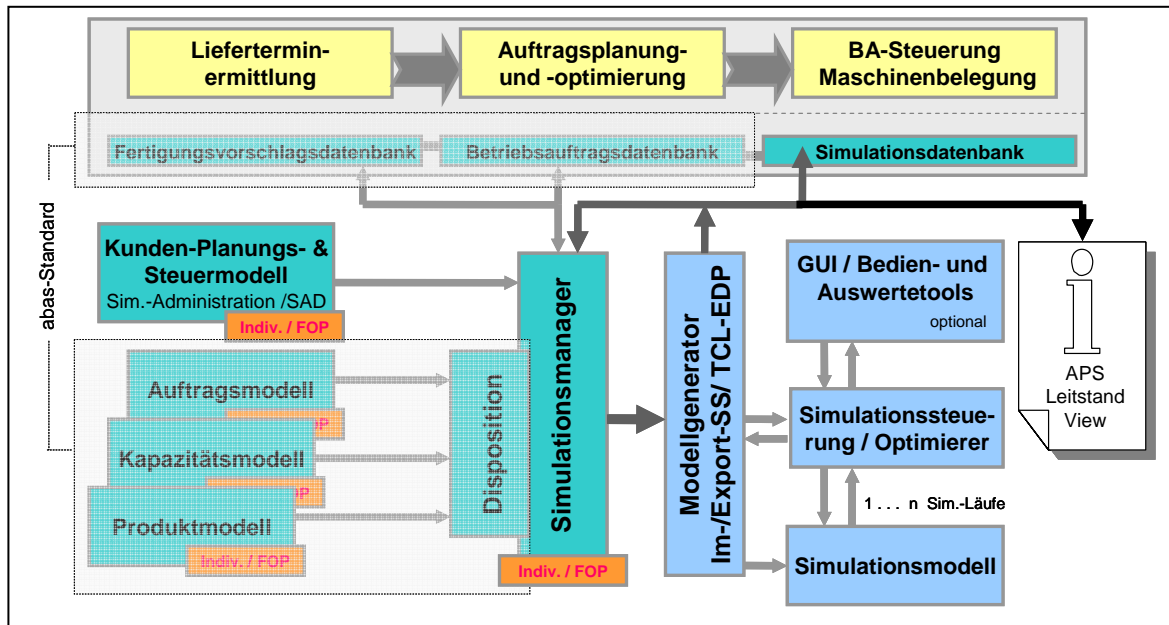


Abbildung 84: Prozessablauf der Auftragsabwicklung [Quelle: Alltrotec]

Mit Hilfe des ABAS Planungstools SIMCRON kann *Caleg* folgende Ziele erreichen

- Reduzierung des in der Fertigung gelagerten Materials durch Senkung der Durchlaufzeit
- Besserer Überblick über die aktuelle Situation der Anlagen.
- Optimaler Überblick über die Feinplanung, Beschränkungen in der Produktion sowie aktuelle Probleme.
- Entwicklung besserer Reihenfolgen durch Simulation alternativer Betriebs-situationen.
- Reduzierung des Umlaufbestandes
- Reduzierung der Schnittstellen innerhalb der Fertigung
- Vereinfachung und Standardisierung des Planungsprozesses
- Transparenz in der Fertigung

3.2.2.5.3 Erweiterung der Kapazitäten durch den Bau einer neuen Montagehalle für die mechanische Montage

Mit dem Bau einer neuen Montagehalle für die mechanische Montage besteht das Ziel, sowohl die Fertigungskapazitäten zu erweitern als auch den Materialfluss neu zu gestalten.

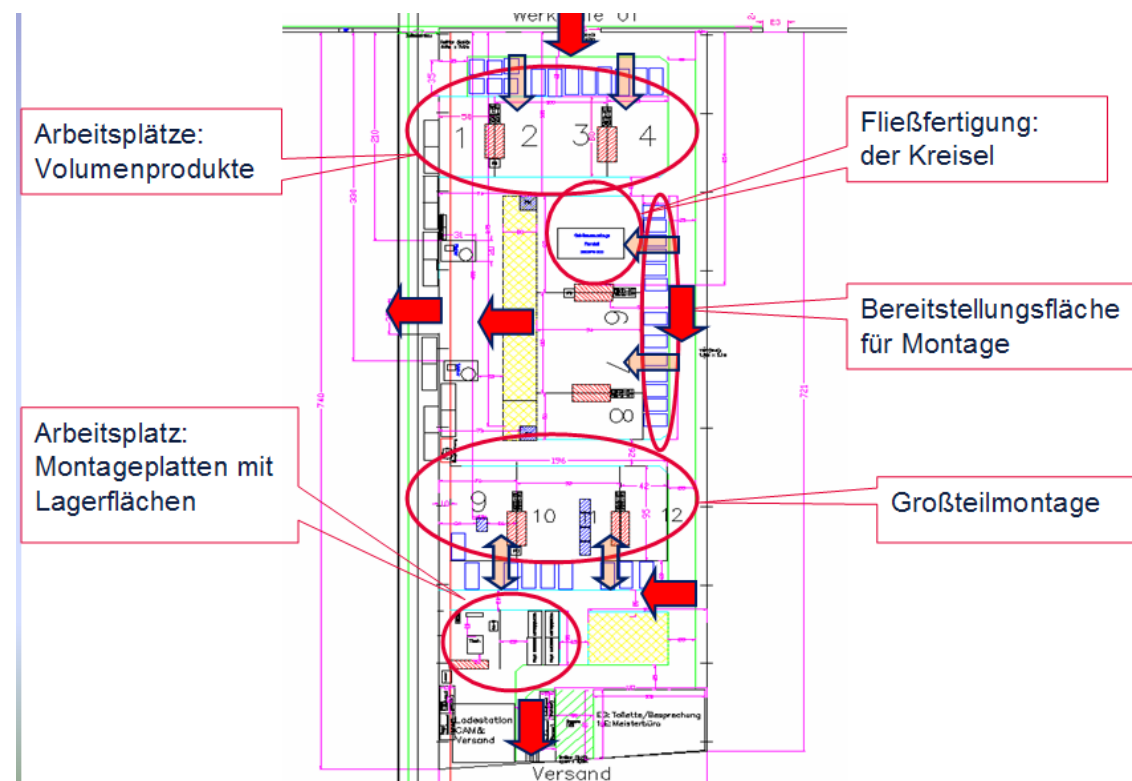


Abbildung 85: Layoutplanung der Caleg-Montagehalle





Abbildung 86: Entstehung der Montagehalle

#### 3.2.2.5.4 Reduzierung der nicht wertschöpfenden Zeiten durch Trennung der Logistik von der Wertschöpfung im Bereich der Montage

Im Zuge der Kapazitätserweiterung der mechanischen Montage bestand die Zielsetzung der Trennung von Logistik und Wertschöpfung. Bei *Caleg* nehmen zukünftig zwei spezialisierte Teams (Montageteam und Kommissionierteam) die Aufgaben wahr. Verbesserungen sind vor allem durch die Spezialisierung zu erwarten. Die Auftrags- und Teilevielfalt der *Caleg* erfordern hier speziell geschultes Personal bei der Organisation der Lagerung und Bereitstellung von Teilen. Verbesserungen ergeben sich ebenfalls aus der Reduzierung des Suchaufwandes von Material durch Prozessoptimierung innerhalb der einzelnen Abteilungen sowie nun eindeutige Schnittstellen zwischen den Abteilungen. Gleichzeitig wird der Materialfluss gestrafft und Verschwendungen durch überflüssige Laufwege reduziert.

### 3.3 Integrierte Netzwerkkonfiguration und Kapazitätsvisualisierung

#### 3.3.1 Softwaregestütztes Konfigurieren

Das Konfigurieren<sup>48</sup> von Objekten bezeichnet die schrittweise Zusammensetzung (Instantiierung) und Ausprägung (Parametrierung) von Komponenten zu einem Gesamtsystem (Konfiguration) unter Einhaltung vorgegebener Restriktionen und vorgegebener Ziele.<sup>49</sup> Gegenstand des Konfigurierens sind üblicherweise Produkte, d.h. Konsum- oder Investitionsgüter, wie bspw. Autos, Kleidung oder Computerprogramme. Deshalb ist die Produktkonfiguration<sup>50</sup>, das Konfigurieren von Objekten der Domäne Produkt, Grundlage für das Konfigurieren anderer technischer, naturwissenschaftlicher und organisatorischer Domänen.

Werkzeuge für das automatische softwaregestützte Konfigurieren von Produkten, sog. Produktkonfiguratoren, werden vielfältig eingesetzt, um<sup>51</sup>

- den Prozess der Spezifikation kundenindividueller Produkte zu vereinfachen,
- den Übergang von Aufträgen aus dem Vertrieb in die Produktion zu beschleunigen,
- vorhandenes (Experten-) Wissen zu formalisieren
- und dadurch die Produktivität zu erhöhen.

Das Konfigurieren von Produkten mittels Konfigurator leistet Routineaufgaben in der Spezifikation, indem Produktvarianten erzeugt werden, die andernfalls neu konstruiert oder manuell aus bestehenden Konstruktionen abgeleitet werden müssten. Im Rahmen der Spezifikation ist die Konfiguration Teil der Konstruktion, nämlich ein Spezialfall des Entwurfs<sup>52</sup>. Die Konstruktion von Produkt und Komponenten muss erfolgt sein, bevor das Produkt mit der Konfiguration individuell für eine Aufgabe bzw.

---

<sup>48</sup> Im Folgenden wird der Begriff ‚Konfigurieren‘ verwendet, wenn explizit auf den Prozess des Erzeugens einer Konfiguration entsprechend nachfolgender Definition eingegangen wird.

<sup>49</sup> Kühn (2001), S. 45; Günter (1995), S. 181

<sup>50</sup> Der Begriff ‚Konfiguration‘ kann sowohl das Ergebnis dieses Prozesses (bspw. eine Produktvariante) als auch den gesamten Vorgang bezeichnen, insbesondere wenn auf Objekte einer bestimmten Domäne eingegangen wird (bspw. Produktkonfiguration).

<sup>51</sup> Vgl. Ladeby et al. (2007), S. 175; Helo (2006), S. 998; Büttner (1997), S. 15

<sup>52</sup> Hümmel (2004), S. 212; siehe auch VDI 2221: Methodisches Konstruieren

einen Kunden ausgelegt werden kann, weil die Konfiguration auf einem definierten Set aus Komponenten und deren Kombinationsmöglichkeiten basiert<sup>53</sup>, das dem Kunden bzw. demjenigen, der das Produkt konfiguriert, die Spezifikation eines individuellen Produkts anhand festgelegter Parameter ermöglicht<sup>54</sup>.

Dementsprechend bedarf die Produktkonfiguration einer Wissensbasis bzw. eines Datenmodells, das Komponenten und Funktionen des Produkts und die Zuordnung von Funktionen zu Komponenten abbildet sowie das Vorgehen zum Finden einer Lösung – die Konfigurationslogik - erfasst<sup>55</sup>. Wenn zusätzlich zu einer Stückliste Arbeitspläne erzeugt werden, so müssen diese und deren Zuordnung zu Komponenten in der Wissensbasis ebenfalls enthalten sein.

Beim Konfigurieren, d.h. im Konfigurationsprozess, wird aus dieser Wissensbasis eine Konfiguration ermittelt, die

- den Anforderungen des Kunden gerecht wird,
- technische Bedingungen bezüglich der Kombinierbarkeit von Komponenten erfüllt und
- nicht-technische Bedingungen (bspw. Optimierungskriterien) erfüllt.<sup>56</sup>

Dazu werden zuerst die Kundenanforderungen erfasst und daraus die Aufgabenstellung beschrieben. Anschließend wird nach vorhandenen Lösungen gesucht um die prinzipielle Baustruktur, bspw. die geeignete Produktfamilie, festzulegen und die Komponenten werden ausgewählt und dimensioniert<sup>57</sup>. Teilmodelle werden in sukzessiven Schritten erzeugt und Parameter, die der Kunde offen gelassen hat werden durch die Konfigurationslogik ergänzt.<sup>58</sup> Die Ausgestaltung dieses generischen Konfigurationsprozesses hängt von der jeweils angewandten Konfigurationsmethodik bzw. dem Konfigurationsprinzip ab. Entsprechend gängiger Klassifikationen wis-

---

<sup>53</sup> Vgl. Ladeby et al. (2007), S. 175; Büttner (1997), S. 52

<sup>54</sup> Dietrich (2007), S. 59

<sup>55</sup> Vgl. Mittal/Freyman (1989) zitiert bei Ladeby et al. (2007), S. 178; Blecker et al. (2004) unterscheidet zwischen Datenbasis und Konfigurationslogik als getrennte Bestandteile der Wissensbasis (S. 26).

<sup>56</sup> Ardissono et al. (2001), S. 1

<sup>57</sup> Vgl. Büttner (1997), S. 59

<sup>58</sup> Vgl. Ardissono et al. (2001), S. 4

sensbasierten Konfigurationsprinzipien wird Fall-basierte, Regel-basierte und Modell- bzw. Darstellungs-basierte Konfiguration unterschieden. Letztere wird in Constraint-basierte, Ressourcen-basierte, Struktur-basierte und Logik-basierte unterteilt<sup>59</sup>. Mischformen, die mehrere dieser Prinzipien verwenden, werden als hybride Ansätze bezeichnet. Fall-basiertes Konfigurieren geht von der Anwendbarkeit bestimmter Lösungen auf ähnliche Aufgabenstellungen aus und beruht auf Fällen aus der Vergangenheit. Beim Regel-basierten Konfigurieren werden „Wenn...dann“-Regeln verwendet, um gültige und geeignete Konfigurationen zu finden. Modell- bzw. Darstellungs-basierte Verfahren nutzen ein Modell aus zerlegbaren Elementen und den deren Beziehungen zueinander.

Als Ergebnis der Produktkonfiguration steht die Beschreibung des Gesamtsystems, bspw. eines Produkts, in Form einer Stückliste<sup>60</sup> und zusätzlich die Beschreibung seiner Erzeugung in Form von Arbeitsplänen. Diese Informationen schließen – im Idealfall<sup>61</sup> – den Prozess der Produktspezifikation ab und können in Produktion und Einkauf weiterverarbeitet werden<sup>62</sup>.

In den folgenden Kapiteln wird gezeigt, wie die bestehenden, theoretisch fundierten und wissenschaftlich beschriebenen Ansätze zum Konfigurieren von Produkten auf Prozesse und das logistische Netzwerk angepasst werden können. Dabei steht entsprechend der BAU-MO 2008 Projektziele die praktische Umsetzung im Mittelpunkt.

### **3.3.2 Idealtypische Beschreibung, realtypische Konzeption und prototypische Umsetzung**

Bei der Entwicklung eines IT-Werkzeugs zur integrierten Konfiguration, Netzwerkplanung und Kapazitätsvisualisierung wurde von einem Idealsystem, das alle Anforderungen bestmöglich erfüllt, ausgegangen. Die Elemente dieses Idealsystems wurden dann priorisiert und der zu erwartende Entwicklungsaufwand wurde abgeschätzt. Aus

---

<sup>59</sup> Vgl. Hümmer (2004), S. 213ff. Ähnlich Kühn (2001), S. 46ff; Hotz/Krebs (2003) S. 148ff; Blecker et al. (2005), S. 26ff und John (2002), S. 6ff.

<sup>60</sup> Helo (2006), S. 999

<sup>61</sup> Wenn der Konfigurator dazu ausgelegt ist, die Produktionsinformationen aus den Kundenanforderungen zu erzeugen und die dafür erforderlichen Daten zur Verfügung stehen. Andernfalls muss das Ergebnis des Konfigurierens angepasst und interpretiert werden.

<sup>62</sup> Hvam et al. (2008), S. 19

dieser Bewertung wurde der Umfang der Software definiert, detailliert konzipiert und prototypisch realisiert. Dieses Realsystem bildet also einen Ausschnitt des beschriebenen Idealsystems ab, der dem zur Verfügung stehenden Entwicklungsumfang entspricht und die wichtigsten Funktionen leisten kann. Im Folgenden wird das Idealsystem als Lastenheft und das Realsystem als Pflichtenheft bezeichnet (siehe Abbildung 87). Da die Konzeption von Funktionen in einer Detaillierung, wie sie für die Umsetzung erforderlich ist, zum einen mit hohem Aufwand verbunden ist und zum anderen spezifisch für eine Softwareumgebung erfolgt, hilft der gewählte Ansatz, den Entwicklungsaufwand gering zu halten.

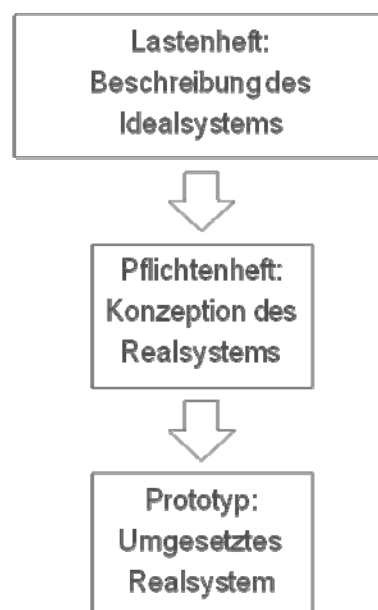


Abbildung 87: Lastenheft und Pflichtenheft als Grundlage für die Entwicklung eines Prototyps

Auf Basis des Pflichtenhefts kann der Softwareprototyp entwickelt, d.h. programmiert werden. Der Prototyp erfüllt alle Anforderungen, die im Pflichtenheft beschrieben wurden und wird in der abschließenden Evaluierung daran gemessen.

### 3.3.2.1 Methodik zur Entwicklung eines Lastenhefts

Ein Lastenheft beschreibt die unmittelbaren Anforderungen, Erwartungen und Wünsche an ein zu entwickelndes Softwareprodukt. Im Gegensatz zum *Pflichtenheft*, wo die Leistungen (features) des Produkts enthalten sind, wird im *Lastenheft* also die Gesamtheit der Forderungen an die Leistungen innerhalb eines Auftrages erfasst (DIN 69905). Das Lastenheft ist nicht mit seiner softwaretechnischen Umsetzung ge-

koppelt, sondern unabhängig von der anschließenden Realisierung der Anforderungen, und kann somit auch als Unterlage für eine Ausschreibung dienen.

### 3.3.2.2 Funktionale Anforderungen an eine Branchenlösung (Idealsystem)

Eine Software zur integrierten Konfiguration, Netzwerkplanung und Kapazitätsvisualisierung, die bestehende Lösungen übertrifft und für Industrieunternehmen Mehrwert darstellt, muss einen klar abgegrenzten Funktionsumfang aufweisen und innerhalb dieses Bereichs realen Problemstellungen mit realistischen Lösungsvorschlägen begegnen. Dazu wurden 20 Funktionen, die mittels Workflow, Eingangsdaten und Ergebnis sowie zugeordneter Rolle (Anwender) eine Problemstellung (Ziel) lösen, und 17 Basismodelle, die funktionsübergreifende Grundlagen festlegen (Bsp.: Kostenmodell), definiert und den relevanten Funktionen, die auf diese Modelle zugreifen, zugeordnet (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3).

Die Rollen (Anwender) im Unternehmen, die vom Einsatz der Software profitieren, wurden definiert und den Funktionen zugeordnet, um den Nutzen der Funktionen für konkrete Anwender im späteren Betrieb schon im konzeptionellen Stadium zu berücksichtigen. Diese Rollen sind Vertrieb (Innendienst, Außendienst und Leitung), Geschäftsführer, Technik, Einkauf, Logistik, Arbeitsvorbereitung und Produktionsplanung (Zuordnung zu den Funktionen siehe Lastenheft im Anhang). Die meisten beschriebenen Funktionen sind nicht exklusiv für eine Rolle vorgesehen, sondern eignen sich für die Anwendung durch mehrere Rollen.

Die Zuordnung zwischen Rollen und Funktionen findet bei der Beschreibung des Idealsystems auf der Ebene einzelner Funktionen statt. In Kapitel 3.3.4 wird dazu ergänzend das Anwendungsspektrum für die gesamte Softwarelösung thematisiert.

*Tabelle 2: Übersicht der Funktionen im Lastenheft*

<b>Funktion</b>
Teilanzforderung Generalisierte Aussagen zu Lieferzeiten
Teilanzforderung Generalisierte Aussagen zu Kosten
Teilanzforderung Analyse von Anpassungen an Produkt / Prozessen bzgl. Zeit / Kosten um Kundenwunsch zu entsprechen
Teilanzforderung Auswertung des Verkaufserfolgs und Kopplung des MA-Anreizsystems
Teilanzforderung Import von Absatzprognosen
Teilanzforderung Analyse des Variantenspektrums auf Komponenten- und Produktebene bzgl.

Kosten und Zeiten im Netzwerk
Teilforderung Analyse der Prozesslandschaft bzgl. Kosten und Zeiten
Teilforderung Einspielen von Produkt / Komponentenvarianten und zugehöriger Prozesse / Netzwerkelemente
Teilforderung Variantenbewertung
Teilforderung Unterstützung der Entscheidung über die Zuordnung von Varianten zum Standardumfang und die Bildung von Kits
Teilforderung Priorisierungssystem für Komponentenvarianten
Teilforderung Analyse und Bericht über kritischen Pfad im Produktionsnetzwerk
Teilforderung Bewertung einer Deckungsbeitragsprognose für (Produkt-) Varianten aus Kosten und Verkaufspreis
Teilforderung Eingabe und Visualisierung von Kapazitäten auf Netzwerk- und Prozessebene
Teilforderung Priorisierungssystem für Lieferanten
Teilforderung Analyse des Versorgungsnetzwerks bzgl. Kosten und Zeit
Teilforderung Modellieren und Zuordnen von Netzwerkalternativen, Lager- und Behälteralternativen, innerbetriebliche Materialflussalternativen
Teilforderung Analyse und Auswertungsfunktion zu logistischen Kenngrößen
Teilforderung Verknüpfung zu externen Konfigurationsregelwerken
Teilforderung Modellierung von Make-or-Buy-Entscheidungen bzw. Auswirkung dieser Entscheidung im Netzwerk

*Tabelle 3: Funktionsübergreifende Basismodelle im Lastenheft*

<b>Basismodell</b>
Basismodell Bewertungsmodell
Basismodell Kostenmodell
Basismodell Datenbasis
Basismodell Auswertungsformat
Basismodell Performance
Basismodell Szenarienmanagement
Basismodell IN- / OUT-Schnittstellen
Basismodell Sicherheit
Basismodell Betreibermodell
Basismodell Datenpflege
Basismodell Änderungsbehandlung

Basismodell GUI
Basismodell Auftragstypen
Basismodell Checklisten
Basismodell Ressourcenmodell
Basismodell Prozessmodell
Basismodell Glossar

### 3.3.2.3 Umsetzung ausgewählter Funktionen (Realsystem)

Wie oben beschrieben wurden die Funktionen in einem mehrstufigen Prozess unter Berücksichtigung von Expertenmeinungen aus der Softwarekonzeption und der Programmierung priorisiert, um die Notwendigkeit der Funktionen in Relation zu den anderen Funktionen und zum Entwicklungsaufwand zu stellen. Im ersten Schritt wurden die vier Bewertungskriterien Praxistauglichkeit, Neuheitsgrad, Zielrelevanz im Sinne des Projekts und Entwicklungsaufwand festgelegt und gewichtet (siehe Tabelle 4).

*Tabelle 4: Bewertungskriterien und Gewichtung*

<b>Bewertungskriterien</b>	<b>Gewichtung</b>	<b>Rang</b>
Praxistauglichkeit (Rolle des Anwenders)	32%	1
Neuigkeitsgrad der Funktion (Gibt es bereits marktreife Lösungen?)	25%	2
Zielbewertung (Projektrelevanz)	23%	3
Entwicklungsaufwand (Subjektive Einschätzung)	20%	4

Für jede Funktion wurden sodann von jedem Teammitglied (siehe Lastenheft) Werte zwischen eins und fünf für die Bewertungskriterien vergeben. Da die Entwicklung des Prototyps auf Basis der Standardsoftware 4flow vista® stattzufinden hatte, war eine realistische Abschätzung des Entwicklungsaufwands nur durch Teammitglieder mit Erfahrung in der Entwicklung und mit 4flow vista® sinnvoll möglich. Dieses Bewertungskriterium wurde deshalb nicht von allen Teammitgliedern valuiert.

Das Ergebnis der Bewertung ist in Tabelle 5 dargestellt. Auf dieser Basis wurde bei 4flow ein Pflichtenheft erstellt, das den Programmierern als „Blaupause“ für die Um-



setzung in eine Software diene. Da dieses Pflichtenheft interne Details zur Software enthält, ist eine Veröffentlichung in diesem Forschungsbericht nicht möglich.

*Tabelle 5: Priorisierte Rangliste der Funktionen*

<b>Funktion</b>	<b>Rang</b>
Teilanforderung Analyse der Prozesslandschaft bzgl. Kosten und Zeiten	1
Teilanforderung Analyse des Variantenspektrums auf Komponenten- und Produktebene bzgl. Kosten und Zeiten im Netzwerk	2
Teilanforderung Eingabe und Visualisierung von Kapazitäten auf Netzwerk- und Prozessebene	3
Teilanforderung Generalisierte Aussagen zu Lieferzeiten	4
Teilanforderung Analyse von Anpassungen an Produkt / Prozessen bzgl. Zeit / Kosten um Kundenwunsch zu entsprechen	5
(weitere Funktionen siehe Lastenheft)	

Der Softwareprototyp (Realsystem) wurde auf Basis der bestehenden Software 4flow vista entwickelt. Um von der funktionsbezogenen Sicht zu einer Problem- bzw. Lösungsorientierten Sicht zu gelangen, wurden die konzipierten, beschriebenen und priorisierten Funktionen den vier Modulen „Bewertung von Aufträgen“, „Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk“, „Analyse und Bewertung von Varianten“ und „Verwaltung von Kapazitäten und Bedarf im Netzwerk“ zugeordnet. Jedes dieser Module adressiert eine Problem- bzw. Aufgabenstellung, die im Verlauf des Verbundprojekts identifiziert wurde. Die Priorität der Funktionen aus der Bewertung im Team und die interne Bewertung der Realisierbarkeit im verfügbaren Budget führten schließlich dazu, dass die Kernfunktionen der Module „Bewertung von Aufträgen“, „Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk“ und „Verwaltung von Kapazitäten und Bedarf im Netzwerk“ umgesetzt wurden. Abbildung 88 zeigt die Module und die zugeordneten Funktionen. Die Realisierung der Module bzw. Funktionen ist in Kapitel 3.3.3 beschrieben.

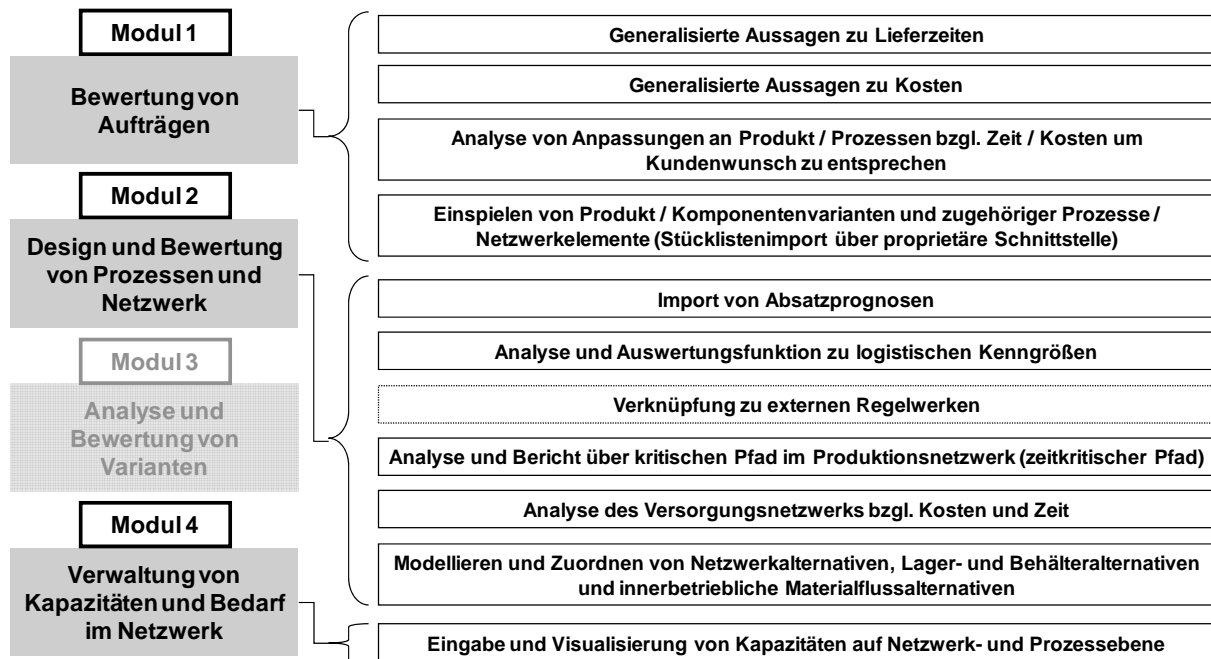


Abbildung 88: Module und zugeordnete Funktionen des Softwareprototyps

In den meisten Fällen ist eine eindeutige Zuordnung von Funktionen zu Modulen möglich und sinnvoll. In einzelnen Fällen kann eine Funktion aber auch mehreren Modulen zugeordnet werden. So ist die Funktion „Import von Absatzprognosen“ beispielsweise sowohl für das Modul „Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk“ als auch für das Modul „Verwaltung von Kapazitäten und Bedarf im Netzwerk“ erforderlich. Im einen Fall können auf Basis der Absatzprognosen Kennzahlen wie Bestände in Prozessen und Netzwerk ermittelt werden; im zweiten Fall sind die Prognosen für die Bestimmung der Kapazitätsauslastung im Netzwerk erforderlich.

### 3.3.3 Beschreibung des Prototyps zur Produkt- und Netzwerkkonfiguration (PNK)

Aufbauend auf dem Lastenheft und dem Pflichtenheft wurde eine prototypische Software zur Produkt- und Netzwerkkonfiguration (PNK) entwickelt. Da diese Entwicklung auf Basis der existierenden Standardsoftware 4flow vista erfolgte, wird im Anschluss eine kurze Einführung in die Software gegeben. Dann wird die Datenbasis des Softwareprototyps vorgestellt, um anschließend die Kernfunktionalitäten entsprechend oben genannter Module zu beschreiben. Abschließend werden die entwickelten proprietären Schnittstellen zum Datenaustausch eingeführt.

### 3.3.3.1 Einführung in die Standardsoftware 4flow vista

4flow vista ist die erste integrierte Standardsoftware zur Logistikplanung. 4flow vista ist für den Einsatz in Unternehmen aller Branchen von Industrie, Handel und Dienstleistung geeignet. Die Logistik ist zu einem erfolgskritischen Planungsgegenstand neben der Einkaufs-, Produktions- und Montageplanung geworden. Zur Beherrschung der Komplexität muss die Logistikplanung integriert Prozesse und Strukturen berücksichtigen. Sie bezieht sich dabei nicht nur auf einzelne Standorte, sondern erfolgt standortübergreifend und global.

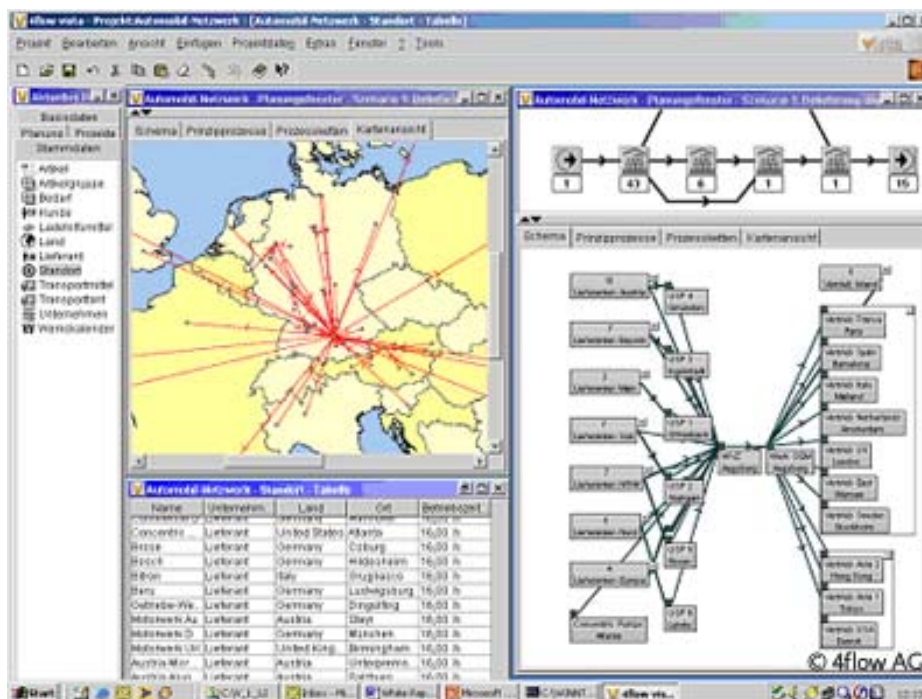


Abbildung 89: 4flow vista – die Standardsoftware zur Logistikplanung

Die wichtigsten Einsatzgebiete von 4flow vista sind:

- Die Planung des Gesamtnetzwerkes Logistik inbound und outbound, inklusive der Werkebelegung.
- Die Prozess- und Ressourcenplanung zur Bestimmung der kostengünstigsten Versorgungs- und Distributionsprozesse unter Beachtung von Kapazitätsrestriktionen,
- die Total-Cost-Bewertung zur Auswahl der günstigsten Lieferanten,
- die kontinuierliche Transportplanung zur Senkung der Transportkosten,
- die werks- und standortinterne Materialflussplanung und

- die Kalkulation der Logistikkosten in Angebotsprozessen von Lieferanten und Dienstleistern.

Der Hauptnutzen von 4flow vista ist die Reduzierung der Logistikkosten durch bessere, realitätsnahe Planung.

Logistikplanung mit 4flow vista basiert auf standardisierten Planungsprozessen mit einer gemeinsamen, standort- und funktionsübergreifenden Datenbasis. Damit wird die Durchgängigkeit der Planung von der Entwicklung über die Serienfertigung bis zum Aftersales gewährleistet.

Die vollständige Gestaltung der physischen Prozesse und Strukturen eines Logistiknetzwerks erfolgt auf mehreren Ebenen. Ausgehend von einem kompletten Netzwerk ist die Ausplanung einzelner Standorte sowie die Detaillierung der Funktionsbereiche der Standorte, wie zum Beispiel Wareneingang, Produktion / Montage, Lager, Kommissionierung und Versand, notwendig. In 4flow vista sind diese Planungsebenen vorhanden und können vollständig abgebildet werden.

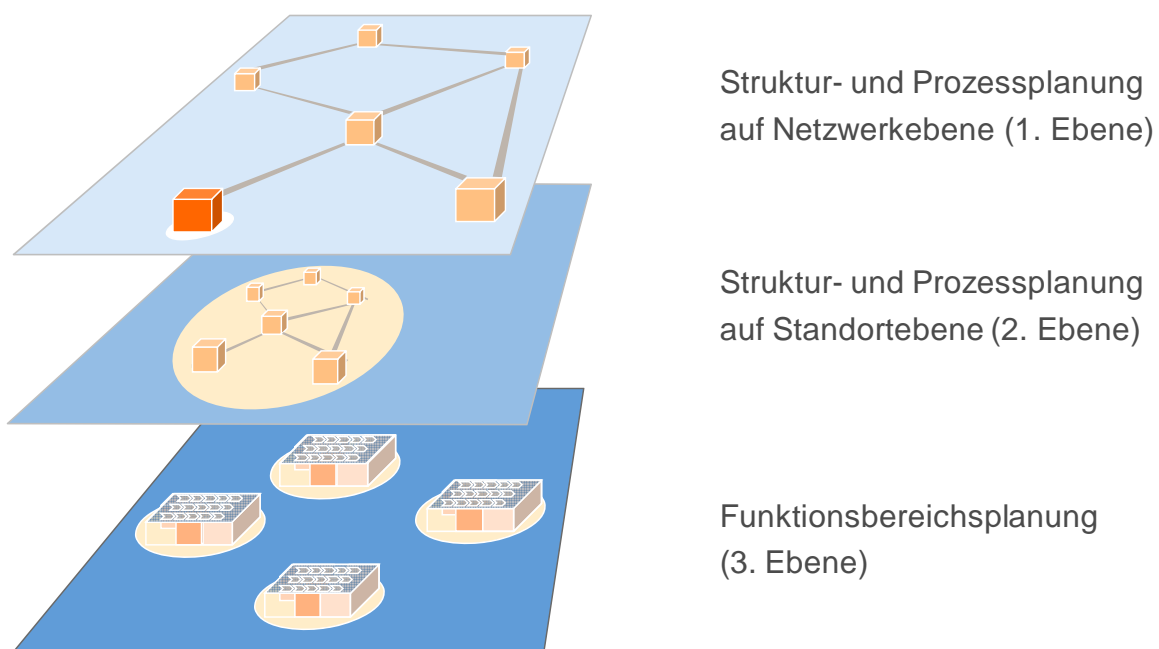


Abbildung 90: Planungsebenen in 4flow vista

4flow vista bietet dabei Flexibilität für planungsfallsspezifische Anwendungen: Planungsebenen können selbst definiert und miteinander verknüpft werden. Ausschnitte aus Netzwerken, zum Beispiel Standorte oder Funktionsbereiche, können ausgewählt und einzeln betrachtet werden.

Bei der Modellierung der Transportrelationen werden die eingesetzten Transportmittel, deren Frequenz und der zu Grunde liegende Tarif auf Basis speditioneller Tarif-

systeme definiert. In die Berechnung der Laderaumauslastung gehen neben dem reinen Transportvolumen das Gewicht, die Abmessungen und die Stapelbarkeit der transportierten Ladehilfsmittel ein. Dadurch können neben dem Transportgewicht und -volumen auch das Volumengewicht sowie die Anzahl Lademeter exakt berechnet werden. Bei der Ermittlung der Transportkosten auf Grundlage dieser Ergebnisse und der hinterlegten Speditionstarife können komplexe Tarifmatrizen, Schnittgewichte und INCOTERMS in die Berechnung mit einfließen. Die resultierenden Transportkosten können zudem Transitbestände berücksichtigen.

Aufbauend auf der Ist-Situation kann der Planer verschiedene Szenarien durch geeignete Direktbelieferung, Konsolidierung, Gebietsspeditiionswesen oder Milk-Runs entwickeln. Diese Szenarien können entweder Einzelmaßnahmen oder ein ganzes Sollkonzept darstellen. Zudem optimiert 4flow vista Transportrelationen automatisch unter Anwendung modernster mathematischer Optimierungsalgorithmen. Unter Berücksichtigung von frequenzabhängigen Bestandskosten werden optimale Transportmittel, -tarife und -frequenzen bestimmt. Durch die Verknüpfung eingehender und ausgehender Transporte entstehen ganzheitliche Transportkonzepte. Dabei kann auch der Leergutfluss, der von 4flow vista automatisch aus dem Vollgutstrom abgeleitet wird, mit berücksichtigt werden.

4flow vista ist zu 100 % in Java programmiert und kann daher auf verschiedensten Windows- und Unix-Plattformen betrieben werden. Durch die verwendeten objektorientierten Schichten lassen sich sehr komplexe Systeme abbilden.

### **3.3.3.2 Datenstruktur der PNK-Software**

Im Softwareprototyp werden die drei Ebenen Produkt, Prozess und Netzwerk, die im gesamten Verbundprojekt (Arbeitspakete, etc.) eine Leitlinie für Analyse und Gestaltung bildeten, als Datenstruktur verwendet. Diese grundlegende Struktur dient mit Plan- oder Istdaten zu den drei Ebenen auch als Grundlage für die Bewertung von Konfigurationen, Prozessausschnitten und des gesamten Netzwerks. Die integrierte Betrachtung dieser drei Ebenen ist als Ansatz und Ergebnis des Verbundprojektes anzusehen und wurde deshalb im Prototyp weiter verfolgt.

#### **3.3.3.2.1 Produktstruktur**

Die Produktstruktur im Prototyp ist eine Vereinfachung der realen Stückliste, die nur die wichtigsten Elemente umfasst und keine verschachtelte Struktur erlaubt. Die Produktstruktur besteht aus Produktfamilien (Bsp.: PUMI® Fahrmischer mit Betonpumpe), Komponenten (Bsp.: Armpaket) und Baugruppen (Bsp.: Armpaket TMM24). Wie Abbildung 91 zeigt, bildet die Produktfamilie (Endprodukt P) in einer Metastückliste die Komponenten ( $K_1$  bis  $K_n$ ) ab, die als Stellvertreter für eine verfügbare Variante dienen. Den Komponenten wiederum sind Varianten ( $V_{1,1}$  bis  $V_{n,m}$ ) eindeutig zugeordnet, die verfügbaren Baugruppen entsprechen.

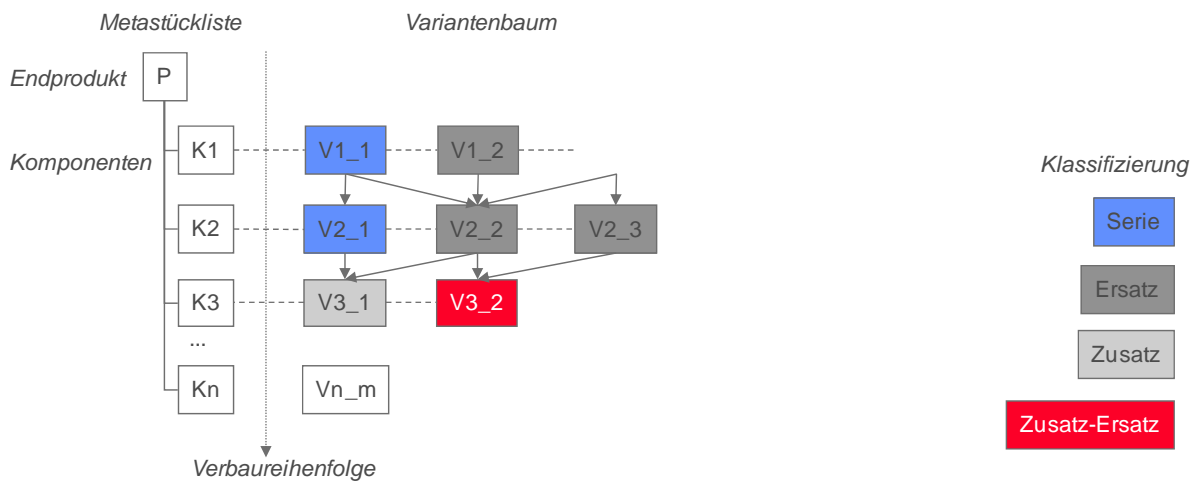


Abbildung 91: Produktstruktur im Softwareprototyp

Das Produktmodell enthält weiterhin Informationen darüber, welche Varianten als Standard eingebaut werden und ob Varianten erforderlich sind oder eine optionale Ergänzung darstellen. Diese Informationen sind über die Klassifizierung der Varianten in „Serie“, „Ersatz“, „Zusatz“ und „Zusatz-Ersatz“ hinterlegt. Dabei bedeutet:

- „Serie“: Die Variante wird als Standard verbaut.
- „Ersatz“: Die Variante wird alternativ zum Standard verbaut.
- „Zusatz“: Die Variante wird als Standard einer optionalen Ergänzung verbaut.
- „Zusatz-Ersatz“: Die Variante wird alternativ zum Standard einer optionalen Ergänzung verbaut.

### 3.3.3.2.2 Prozessstruktur

Die Prozessstruktur umfasst direkte und indirekte Prozesse zur Auftragserfüllung in drei Ebenen. Die oberste Ebene umfasst die Funktionsbereiche; im prototypischen Anwendungsfall sind dies „Vertrieb“, „Technik“, „Arbeitsvorbereitung“, „Produktion“, „Einkauf“ und „Logistik“ (siehe Abbildung 92). Auf der zweiten Ebene, das heißt je Funktionsbereich, sind Detailprozesse modelliert, die den übergeordneten Abläufen in diesem Bereich entsprechen. Die dritte Ebene enthält Tätigkeiten je Detailprozess, die einzelne Arbeitsschritte beschreiben. In diesen Tätigkeiten sind Kosten und Dauer je Vorgang hinterlegt, die in den Detailprozessen und Funktionsbereichen aggregiert werden.

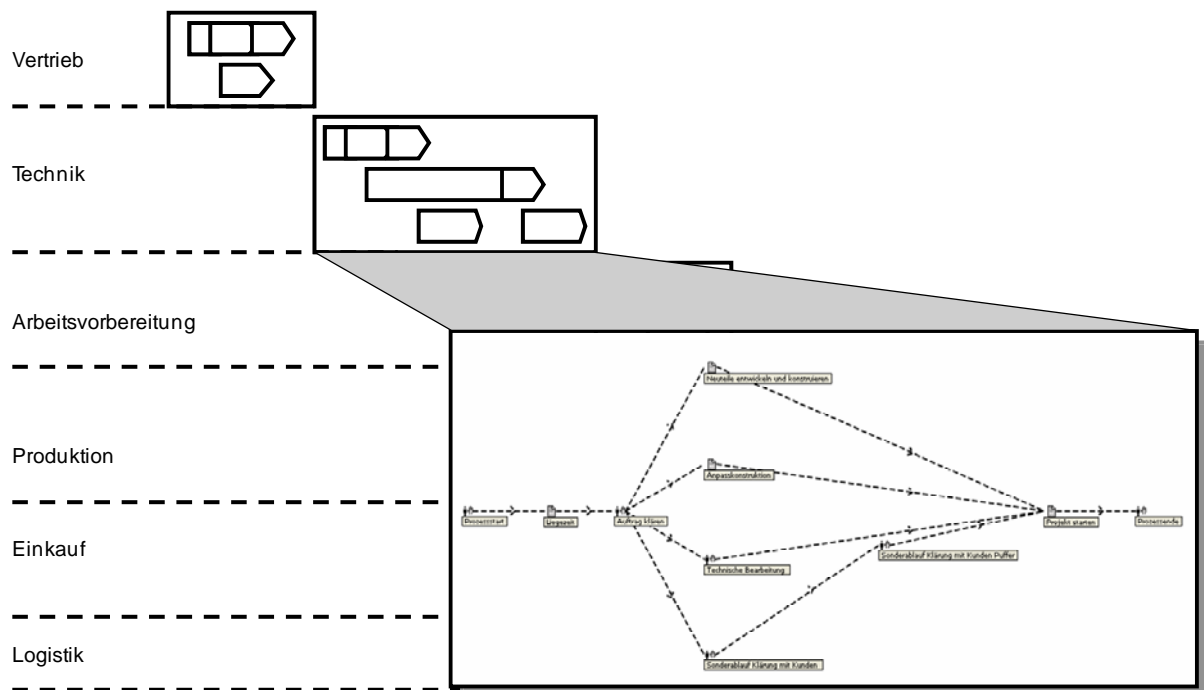


Abbildung 92: Funktionsbereiche und Detailprozesse (Ausschnitt) im Anwendungsfall

Die Prozesse sind im Gesamtmodell einem geografischen Standort zugeordnet (siehe Netzwerkmodell in Kapitel 3.3.3.2.3), das heißt mit einem Werk verknüpft.

Für die Funktionsbereiche sind Auftragsstypen definiert, die den unterschiedlichen Aufwand der Aufträge abbilden. Je nachdem, ob es sich eher um einen Standardauftrag handelt oder ob der Auftrag weitreichende Anpassungen erfordert, werden unterschiedliche Prozesse angestoßen und unterschiedliche Prozessdauern sind erforderlich. Die Prozessstruktur enthält also eine feste Verknüpfung zwischen Auftragsstypen und jeweils zugeordneten Prozessen.

### 3.3.3.2.3 Netzwerkstruktur

Das Netzwerkmodell enthält zum einen die geografischen Standorte des zentralen Unternehmens (Hersteller), von Zulieferern, Zwischenlagern, Verteilzentren, Kunden etc., soweit Analysen zu diesen Standorten erwünscht sind. Zum zweiten sind den Standorten die Komponenten, Baugruppen etc. (Produkte), die dort bezogen bzw. nachgefragt werden, und Parameter wie Beschaffungszeiten, Lagerbestände etc. zugeordnet. Drittens sind im Netzwerkmodell die Relationen zwischen den Standorten abgebildet. Diese beinhalten die über die Versorgungsbeziehungen jeweils abgewickelten Produkte und Daten zu den Transporten (Transporttarife, Transportmittel, etc.), die für die Ermittlung von Transportkosten und –dauer erforderlich sind. Abbildung 93 zeigt ein fünfstufiges Versorgungsnetzwerk.

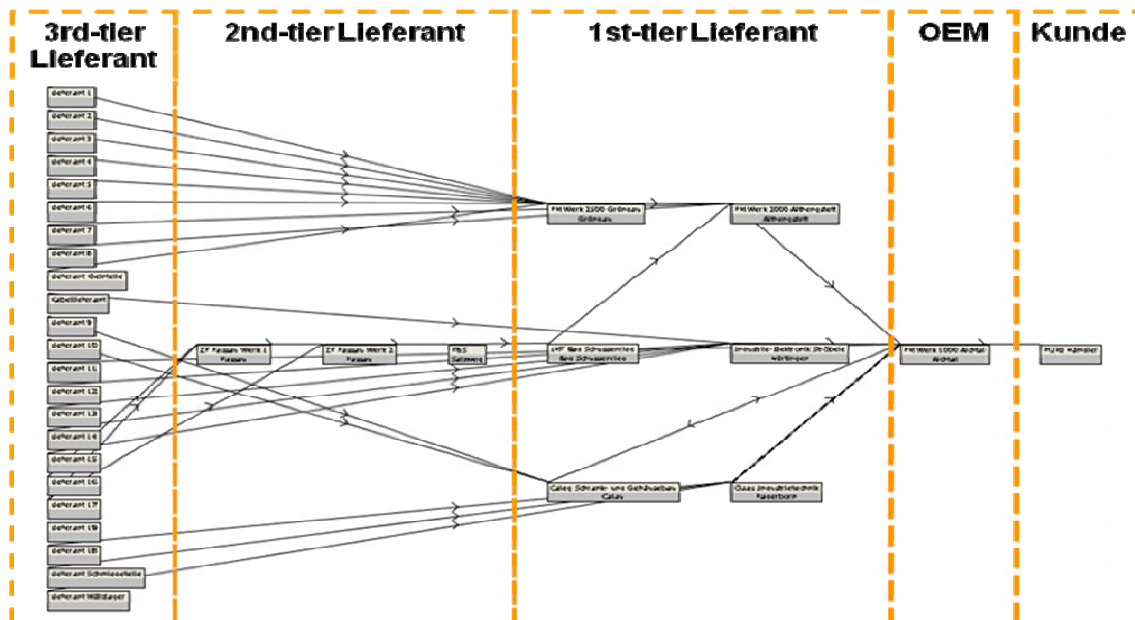


Abbildung 93: Das Netzwerkmodell im Prototypen

In den Modulen bzw. Funktionen des Prototyps werden das gesamte Netzwerk oder Ausschnitte berücksichtigt und analysiert (siehe Kapitel 3.3.3.3 bis 3.3.3.5).

### 3.3.3.3 Konfigurationstypologie in der Anwendung

Im Folgenden wird die integrierte Konfiguration von Produkt und Netzwerk mit der prototypischen Software im Rahmen des Moduls „Bewertung von Aufträgen“ beschrieben. Ziel ist es, einen kundenspezifischen Auftrag mit geringer Stückzahl abzubilden. Dazu werden konsekutiv Produkt, Prozesse und Netzwerk konfiguriert (siehe Abbildung 94).



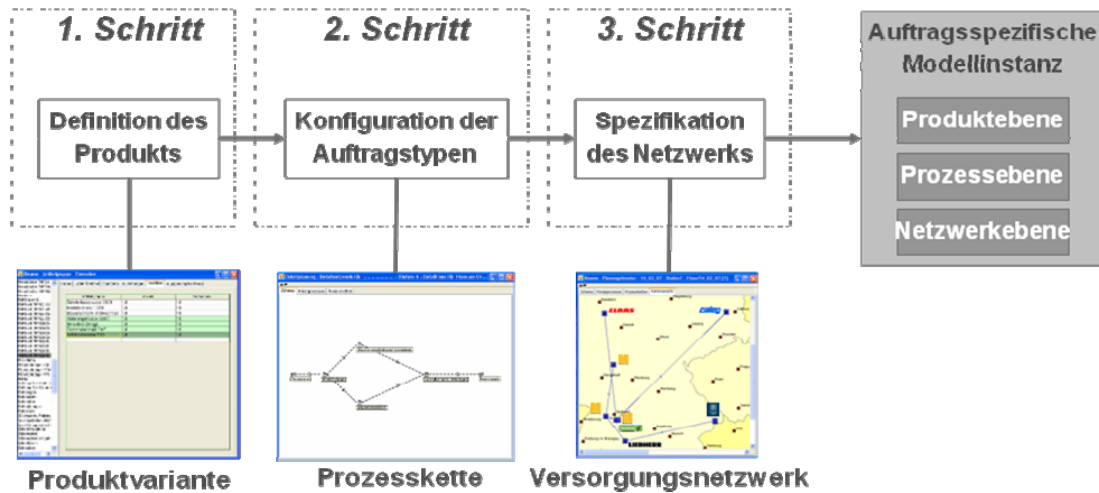


Abbildung 94: Schematisches Vorgehen bei der integrierten Konfiguration

Anschließend wird die Konfiguration analysiert, um den Auftrag bewerten zu können.

### 3.3.3.3.1 Produktkonfiguration mit Metastücklisten

In der prototypischen Softwarelösung wird das Produkt im ersten Schritt definiert. Dazu legt der Anwender zuerst die Produktfamilie (z.B. PUMI®) fest. Dann werden die Komponenten, die in der Metastückliste (s.o.) eingetragen sind, spezifiziert: Der Benutzer legt fest, welche Variante für eine bestimmte funktionale Komponente im konfigurierten Produkt verbaut werden soll (Abbildung 95).

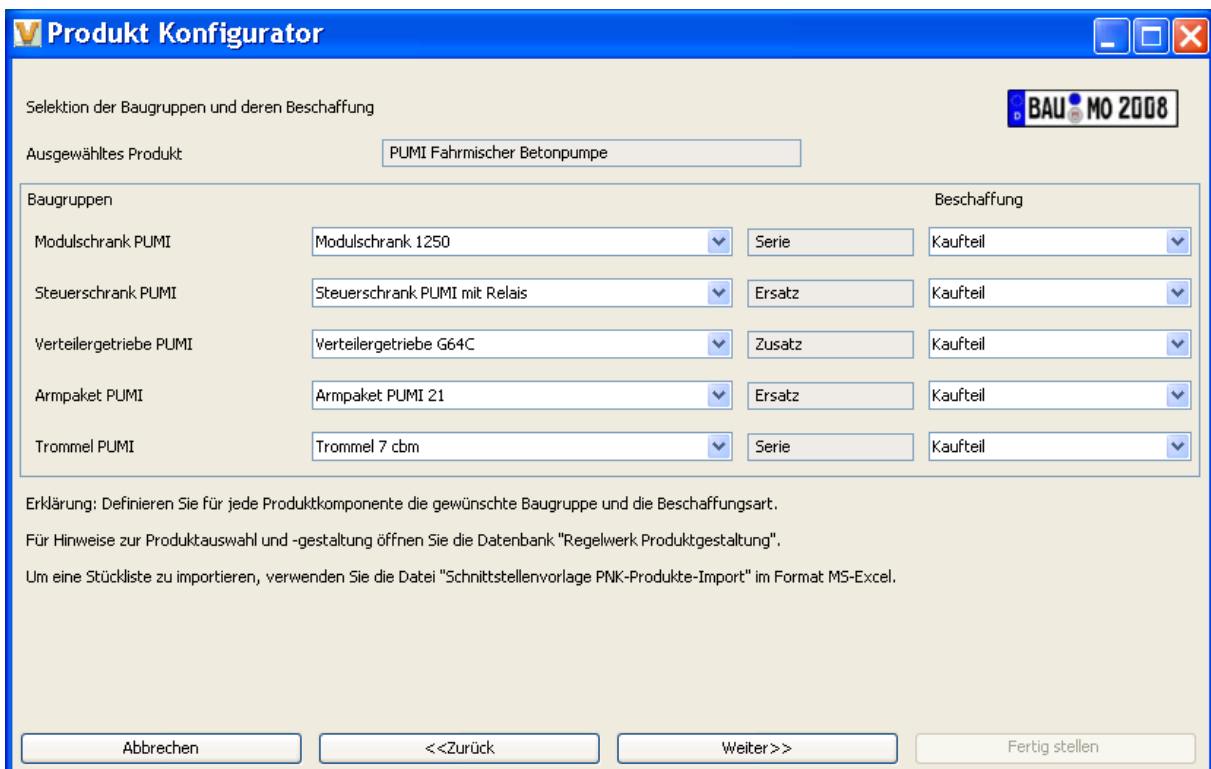


Abbildung 95: Definition des Produkts (Screenshot des PNK-Prototyps)

Dabei wird die Zugehörigkeit der Baugruppen (Varianten) zur jeweiligen Komponente ebenso berücksichtigt wie die hinterlegte Information zur Klassifizierung der Baugruppe. Dementsprechend ist es nur für „Zusatz“-Baugruppen möglich, explizit keine Baugruppe auszuwählen.

### 3.3.3.3.2 Prozessselektion über Auftragstypen

Im zweiten Schritt werden in der Anwendung Prozesse der Auftragsabwicklung und ihre Ausprägung, d.h. Dauer und davon abhängige Kosten, definiert. Dazu werden die definierten Auftragstypen je Funktionsbereich zur Auswahl angezeigt.

Abbildung 96: Selektion der Prozesse (Screenshot des PNK-Prototyps)

Die Auswahl des Benutzers bewirkt, dass nur die jeweils mit den Auftragstypen verknüpften Prozesse aktiviert werden und später zur Kosten- und Durchlaufzeitberechnung herangezogen werden.

### 3.3.3.3.3 Netzwerkkonfiguration durch Auswahl von Lieferanten und logistischen Parametern

Das Netzwerk wird im dritten Schritt des PNK-Prototyps konfiguriert. Dazu werden die Baugruppen, die im ersten Schritt definiert wurden, mit passenden Elementen aus der Netzwerkstruktur kombiniert, so dass der Benutzer für jede Baugruppe verschiedene alternative Versorgungsbeziehungen zur Auswahl hat. Zur ausgewählten Versorgungsbeziehung können dann logistische Parameter (z.B. Wiederbeschaffungszeit beim Lieferanten), die vom modellierten Standard abweichen, eingegeben werden (Abbildung 97).

Komponenten	Lieferant	Transportmittel	Belleferungsfrequenz	Wiederbeschaffungszeit beim Lieferant
Modulschrank 1250	Caleg Schrank- und Gehäuse...	Spedition (Schenker) - Beispieltarif	0,0 1/d	14,0 d
Steuerschrank PUMI mit Relais	Industrie-Elektronik Ströbele	Spedition Belleferung Aich - Diehl ab 3t	0,0 1/d	2,0 mo
Verteilergeltriebe G64C	Claas Industrietechnik	Frei Haus - Sonst.	0,0 1/d	4,0 mo
Armpaket PUMI 21	PM Werk 2500 Gründau	Paketdienst - Auslieferung Putzmeister	0,0 1/d	3,0 mo
Trommel 7 cbm	LMT Bad Schussenried	Frei Haus - Sonst.	0,0 1/d	12,0 d

Erklärung: Definieren Sie die Lieferanten für die Produktkomponenten und die entsprechenden Parameter.

Hinweise zur Netzwerkgestaltung und Lieferantenauswahl finden Sie im "Leitfaden Netzwerk und Lieferanten".

Um Produktionskapazitäten im Netzwerk zu exportieren oder zu importieren, verwenden Sie die Datei "Schnittstellenvorlage PNK-Kapazitäten".

Für die Simulation der Kapazitätsauslastung im Netzwerk öffnen Sie die externe Anwendung "Kapazitätssimulation".

Abbrechen <<Zurück Weiter>> Fertig stellen

Abbildung 97: Konfiguration des Versorgungsnetzwerkes (Screenshot des PNK-Prototyps)

Die definierten Versorgungsbeziehungen und die Parameter werden in das konfigurierte Netzwerk übernommen und zur Berechnung von Kosten, Zeiten und Kapazitäten herangezogen.

#### 3.3.3.3.4 Analysemethoden

Für die Bewertung und den Vergleich verschiedener Konfigurationen werden diese analysiert. Berechnet werden die logistischen Kosten<sup>63</sup> für die gewählte Stückzahl und die statische Durchlaufzeit der Variante im gesamten Netzwerk. Die Ergebnisse der Analyse werden in zwei separaten Balkendiagrammen mit Tabelle ausgegeben. Der kritische Pfad wird zusätzlich farbiger im Netzwerk markiert (siehe Abbildung 98).

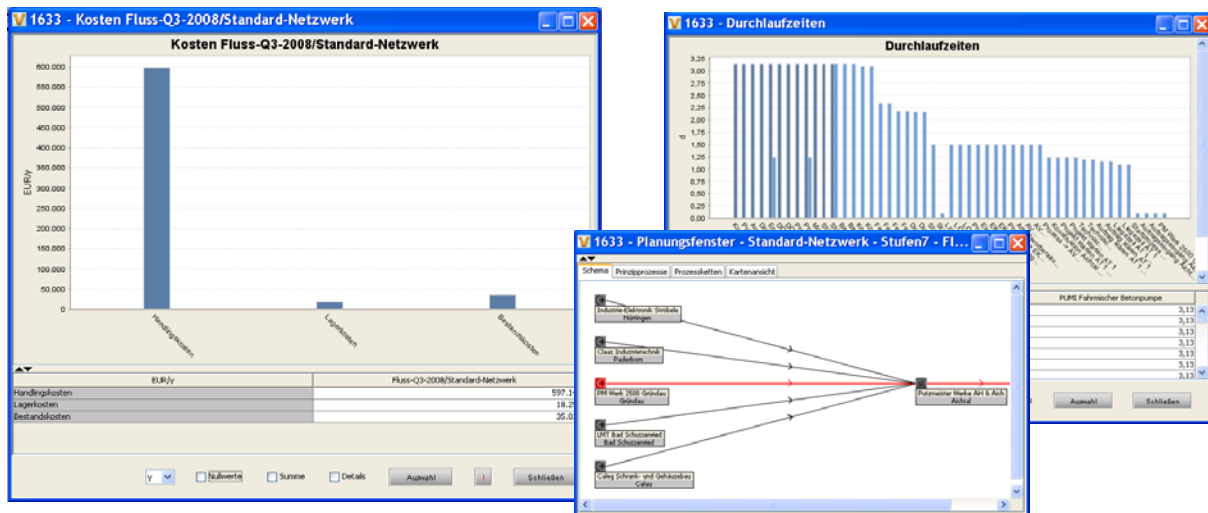


Abbildung 98: Ausgabeformate des Analyseergebnisses (Screenshots des PNK-Prototyps)

Mehrere Konfigurationen können verglichen werden, indem die Analysen nacheinander für die einzelnen Konfigurationen durchgeführt und die Ergebnisse zwischengespeichert werden.

### 3.3.3.3.5 Verknüpfung zu externen Dokumenten, Anwendungen und Regelwerken

Im Verbundprojekt wurde eine Vielzahl an Lösungen entwickelt, deren Nutzen in einer abgestimmten Anwendung höher ist als wenn diese separat eingesetzt werden. Deshalb wurde bei der Konzeption und Entwicklung der Software darauf geachtet, an geeigneter Stelle auf die entsprechenden Teillösungen anderer Projektpartner zu verweisen. Die Verweise wurden als passive Elemente realisiert, die den Anwender in den entsprechenden Eingabemasken (Fenstern) auf die themenverwandten externen Dokumente, Anwendungen und Regelwerke hinzuweisen. Dieser Ansatz wurde dynamischen Links vorgezogen, um die Software universeller einsetzbar und flexibler zu halten.

<sup>63</sup> Transportkosten, Bestandskosten, Lagerkosten und Personalkosten in den modellierten Prozessen.

- Im Fenster zur Auswahl der Produktbaugruppen wird auf das Regelwerk zur Produktgestaltung (Kapitel 3.1.1.4.1) und die Schnittstelle zum Stücklistenimport hingewiesen.
- Im Fenster zur Selektion der Prozesse wird der Hinweis zum Leitfaden Prozessgestaltung, zur Schnittstelle für den Prozessimport und auf die externe Anwendung zur Variantenbewertung angezeigt.
- Im Fenster zur Konfiguration des Netzwerks wird auf den Leitfaden zur Netzwerk und Lieferanten, die Schnittstelle zum Import von Netzwerkkapazitäten und die externe Simulationsanwendung hingewiesen.

### 3.3.3.4 Statische Kapazitätsanalyse im Netzwerk

Die statische Analyse von Kapazitätsauslastungen im Versorgungsnetzwerk mit Hilfe der prototypisch entwickelten Software wird im Folgenden beschrieben. Die Analyse verwendet hinterlegte Kapazitäten und Durchlaufzeiten bei den Lieferantenstandorten sowie Transportzeiten um im Abgleich mit einem Bedarf an Endprodukten, der über eine Stückliste aufgelöst wird, die statische Kapazitätsauslastung im Versorgungsnetzwerk zu ermitteln.

#### 3.3.3.4.1 Analyse der Kapazitätsauslastung und des Rückstands im Versorgungsnetzwerk

Aufbauend auf der in Kapitel geschilderten integrierten Konfiguration oder auf Basis des gesamten modellierten Netzwerks kann die Analyse der Kapazitätsauslastung durchgeführt werden (siehe Abbildung 99). Dabei werden die Endprodukt-Bedarfe für beliebige Perioden im Netzwerk verteilt und an den Lieferantenstandorten als Last mit der verfügbaren Kapazität verglichen. Die Durchlaufzeit und die Transportzeiten werden berücksichtigt, indem diese Bedarfe um diese Zeiten versetzt werden.

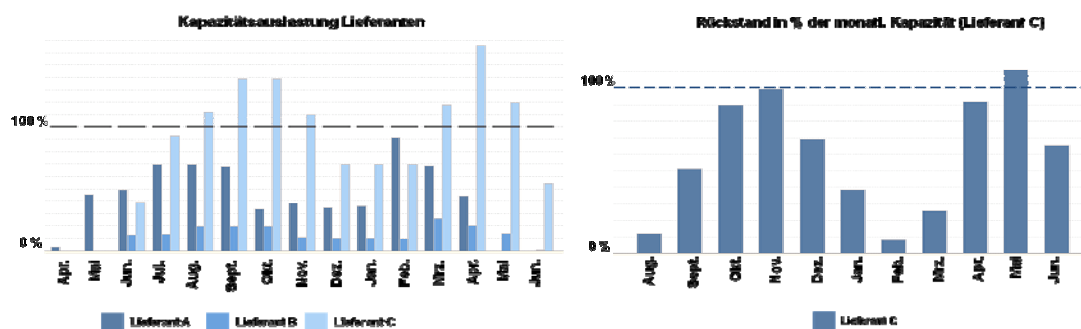


Abbildung 99: Analyseergebnis Kapazitätsauslastung und Rückstand (Screenshots des PNK-Prototyps)

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, eine Analyse über den Rückstand, der aufgrund nicht-abgearbeiteter Bedarfe zu erwarten ist, durchzuführen. Diese Analyse zeigt den Rückstand je Lieferant im Zeitverlauf entsprechend der eingestellten Periodendauer (siehe Abbildung 99).

#### 3.3.3.4.2 Vorlaufanalyse als Maßnahme zur Engpassvermeidung

Wenn die Analyse der Kapazitätsauslastung bzw. des Rückstands ergibt, dass bei einem oder mehreren Lieferanten Engpässe in den betrachteten Perioden prognostiziert werden, kann eine Maßnahme zur Abhilfe für den Lieferanten darin bestehen, die benötigten Bedarfe im Voraus zu produzieren. Die Menge, die bei voller Kapazitätsnutzung im Voraus produziert werden muss, ist im Ergebnis der Analyse enthalten (siehe Abbildung 100).

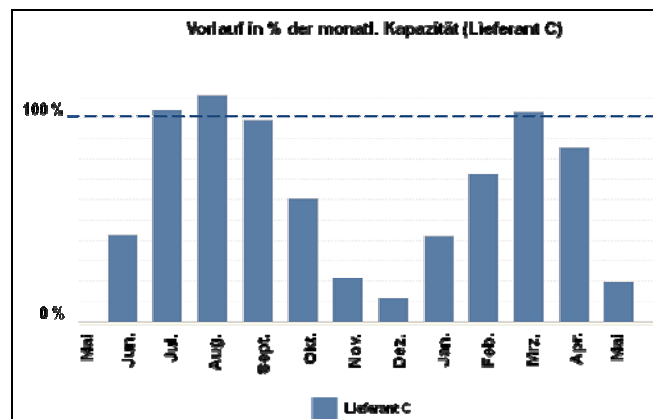


Abbildung 100: Analyseergebnis Vorlauf (Screenshot des PNK-Prototyps)

Die prototypische Lösung ist also nicht nur geeignet um drohende Engpässe zu identifizieren, sondern bietet auch einen Lösungsansatz zu dessen Vermeidung.

#### 3.3.3.4.3 Verknüpfung zur einer dynamischen Simulationsanwendung

Die Analysefunktion berücksichtigt die Interdependenz zwischen Auslastung und Durchlaufzeit nicht; die Durchlaufzeit wird als statischer Wert angenommen. Um Aussagen über verlängerte Durchlaufzeiten durch Überauslastung zu gewinnen, wird deshalb eine dynamische Simulation eingesetzt, die im Rahmen des Verbundprojekts modelliert wurde.

Die Verknüpfung mit dieser Simulationsanwendung erfolgt über eine proprietäre Schnittstelle zur Übertragung der hinterlegten Kapazitäten und des Bedarfs (siehe

Kapitel 3.3.3.6.4). Das Ergebnis der dynamischen Simulation sind angepasste Durchlaufzeiten.

### **3.3.3.5 Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk**

Die Funktionalitäten der Softwarelösung zu Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk sind in Modul 2 zusammengefasst (siehe Abbildung 88). Mit diesen Funktionen können das Logistiknetzwerk und die Prozesse in den Funktionsbereichen, die im Datenmodell hinterlegt sind, getrennt von der vorgestellten Konfigurationsumgebung und der Kapazitätsbetrachtung bearbeitet und analysiert werden.

#### **3.3.3.5.1 Analyse logistischer Kenngrößen**

Die Software bietet verschiedene Analysefunktionen, die für die Bewertung logistischer Netzwerk und der internen Prozesse geeignet sind. Diese ermöglichen Auswertungen auf Basis einzelner Artikel und des Artikelspektrums. Ausgegeben werden können:

- Logistische Kosten für einzelne Artikel oder das gesamte Artikelspektrum entsprechend der hinterlegten Bedarfe.
- Mengenmäßiger und monetärer Durchsatz an Standorten, Prozessen und Transporten.
- Bestände an Lager- Produktionsstandorten entsprechend hinterlegter Bedarfe und Reichweiten.

Die Analyseergebnisse werden in Form von Tabellen und Diagrammen übersichtlich zur Verfügung gestellt.

#### **3.3.3.5.2 Analyse des zeitkritischen Pfads im Produktionsnetzwerk**

Der zeitkritische Pfad für ein Produkt - das ist der Weg zum Montageort desjenigen Bauteils, der am meisten Zeit beansprucht – kann in der PNK-Software für beliebige Zwischen- und Endprodukte ausgegeben werden. Dabei werden die Prozesszeiten an den Funktionsbereichen und Transport- und Handlingzeiten sowie auf Wunsch Liegezeiten berücksichtigt. Im Ergebnis ist der kritische Pfad markiert (siehe Abbildung 101) und kann weiter analysiert werden. Optional ist ebenso möglich, den am wenigsten kritischen Pfad mit der kürzesten Durchlaufzeit zu ermitteln.

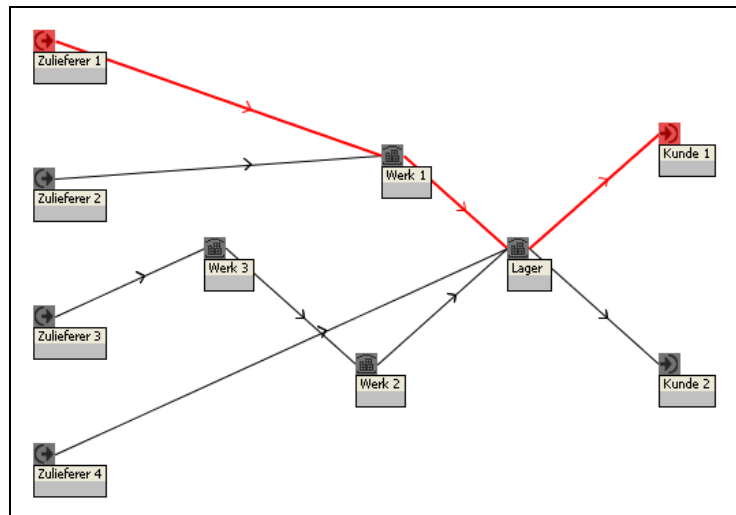


Abbildung 101: Zeitkritischer Pfad im Produktionsnetzwerk

Zu beachten ist hier, dass die betrachteten Zeiten Planzeiten sind, die als unabhängig von der Auslastung der Prozesse und Standorte angenommen werden.

### 3.3.3.5.3 Modellierung von Objekten im Datenmodell

Da die entwickelte Softwarelösung auf der Standardsoftware 4flow vista® basiert, ist die dort vorhandene Modellierungsumgebung verfügbar. Die Objekte aus Produkt-, Prozess- und Netzwerkmodell können deshalb in der grafischen Benutzeroberfläche neu modelliert und bestehende Objekte können angepasst werden.

Bei der Modellierung neuer Objekte werden zwei Hauptschritte durchgeführt:

- Zuerst werden die neuen Objekte angelegt und die charakteristischen Parameter werden mit Werten versehen. Ein neuer Artikel wird bspw. mit einem Wert für das Gewicht versehen; einem neuen Prozess die jeweilige Ressource zugeordnet.
- Im zweiten Schritt wird das neue Objekt dann in die Datenstruktur eingebunden. So muss ein neues Bauteil bspw. in eine bestehende oder neue Stückliste integriert werden. Eine neue Transportrelation im Netzwerk muss mit neuen oder vorhandenen Artikeln verknüpft werden und ein weiterer Schritt in der Prozesskette muss in diese eingebunden werden.

### 3.3.3.6 Schnittstellen für den Datenaustausch

Die Ergebnisse des Verbundprojekts auf den drei Ebenen Produkt, Prozesse und Netzwerk sind eigenständig sinnvolle Lösungen für die jeweils identifizierten Probleme und Herausforderungen. In vielen Fällen überschneiden sich die Ebenen jedoch



und erfordern eine durchgängige Strategie und die Abstimmung der Lösungsansätze sowie des Vorgehens bei der Umsetzung. Da die Ergebnisse teilweise in Form von Software realisiert wurden – so wie der PNK-Prototyp – ist die Abstimmung der Softwareprogramme ein wichtiger Schritt hin zu einer durchgängigen Lösung. Dazu sind in erster Linie Schnittstellen, die den Austausch von Daten erlauben, erforderlich.

Schnittstellen zu Datenquellen, die außerhalb des Verbundprojekts stehen, - betriebliche Standardsoftware – sind erforderlich, um die Softwarelösung in den Betriebsalltag zu integrieren. Nur wenn der Nutzen der Software deutlich erkennbar ist und Mehraufwand, z.B. durch mehrfache Dateneingabe, vermieden wird, stößt eine neuartige Software auf Akzeptanz im Unternehmen. Deshalb wurden proprietäre Schnittstellen entwickelt, die den Datenimport und -export in einem vorgegebenen Format erlauben. Diese Schnittstellen basieren auf dem Standardformat Microsoft Excel®.

#### 3.3.3.6.1 Import von Absatzprognosen

Eine Schnittstelle, die den Import von Absatzprognosen in die Software erlaubt, wurde entwickelt. In die Vorlage werden die Bezeichnung des Absatzszenarios, der Ort des Verbrauchs, das ist der Standort, der das entsprechende Produkt nachfragt, das Produkt, die Gültigkeit des Absatzszenarios und die prognostizierte Menge Zeitperiode geschrieben (siehe Abbildung 102). Zusätzlich kann optional eine minimale Frequenz des Verbrauchs (pro Tag) erfasst werden, die dazu dient, den Verbrauch zu glätten.

<b>Absatzszenario</b>	<i>Text eingeben</i>		
<b>Ort des Verbrauchs</b>	<i>Text eingeben</i>		
<b>Produkt</b>	<i>Text eingeben</i>		
<b>Versorgung von</b>	<i>Text eingeben</i>		
<b>Gültigkeit</b>	<i>Text eingeben</i>		
<b>von (Datum)</b>	<b>bis (Datum)</b>	<b>Menge pro Monat</b>	<b>minimale Frequenz des Verbrauchs (pro Tag)</b>
<i>Datum eingeben</i>	<i>Datum eingeben</i>	<i>Menge eingeben</i>	<i>&lt;Frequenz eingeben&gt;</i>

Abbildung 102: Format der Absatzprognose Import

Über die Schnittstelle können jeweils Prognosen für ein Produkt (Produktfamilie) importiert werden.

#### 3.3.3.6.2 Import und Export von Prozessen

Die Prozesslandschaft ist ein zentrales Element des Datenmodells. Deshalb wurde eine Schnittstelle für Import und Export von Prozessen entwickelt (Format siehe Ab-

bildung 103). Die Prozesse können so bspw. aus Arbeitsplänen importiert werden und exportiert werden, um in anderen Anwendungen - wie der Variantenbewertung (siehe Kapitel3.4.3) - eingesetzt zu werden.

		<b>Stufe</b>		<b>HINWEISE</b>	In die <i>kursiven</i> und <b>fetten</b> Felder ist nichts einzutragen. (		
<b>Netzwerkstandort</b>	<i>Werk</i>	2			Den Auftragstyp und den Vorgängerhauptprozess nur ein		
<b>Funktionsbereich</b>	<i>Text eingeben</i>	<i>Stufe eingeben</i>			Die Dauer nur bei Teilprozesse (nicht bei Hauptprozesse		
<b>Hauptprozess</b>	<b>Stufe Hauptprozess</b>	<b>Teilprozess</b>	<b>Dauer [s]</b>	<b>Auftragstyp</b>	<b>Vorgängerhauptprozess</b>	<b>Kostensatz</b>	<b>Prozess ID</b>
<i>Startprozess</i>	1						<i>Startprozess</i>
<i>Prozesse eingeben</i>		<i>Teilprozesse eingeben</i>		<i>Auftragstyp ei</i>	<i>Prozesse eingeben</i>	<i>Kostensatz eingeben</i>	
<i>Prozesse eingeben</i>				<i>Auftragstyp ei</i>	<i>Prozesse eingeben</i>	<i>Kostensatz eingeben</i>	
<i>Endprozess</i>	2				<i>Prozesse eingeben</i>		<i>Endprozess</i>

Abbildung 103: Format der Import- / Exportschnittstelle Prozesse

Die Schnittstellenvorlage bildet das Prozessmodell in den Ebenen ‚Hauptprozess‘ und ‚Teilprozess‘ für einen Funktionsbereich ab. Diese entsprechen den Ebenen aus Kapitel 3.3.3.2.2 (Prozessstruktur).

### 3.3.3.6.3 Import und Export von Produktstrukturen (Stücklisten)

Die prototypische Software ist nicht dafür konzipiert, ein vollständiges Produktmodell (Stückliste) abzubilden, sondern ist auf die wichtigsten Komponenten bzw. Bauteile begrenzt (vgl. Kapitel 3.3.3.2.1). Deshalb ist eine Möglichkeit entwickelt worden, um Stücklisten zu importieren, die aus einem dedizierten Produktkonfigurator, der Datenbank zur Produktgestaltung und –architektur (siehe Kapitel**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) oder einer anderen betrieblichen Software stammen. Ebenfalls möglich ist der Export der im Prototypen hinterlegten Stücklisten.

<b>Produktfamilie:</b>	<i>Text eingeben</i>		
<b>Baugruppe/Bauteil</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Nummer</b>	<b>Maßeinheit</b>
<i>Stücklisteneintrag eing</i>	<i>Zahl eingeben</i>	<i>Artikelnumme</i>	<i>&lt;Maßeinheit e</i>

Abbildung 104: Format der Import- / Exportschnittstelle Produkt (Stückliste)

Wenn Stücklisten importiert werden, müssen die enthaltenen Produkte und Stücklisteneinträge entweder bereits im Produktmodell modelliert sein, oder sie müssen im Anschluss an den Import in der PNK-Software Prozessen und Netzwerkkomponenten zugeordnet werden um ein vollständiges Modell zu erhalten, das konfiguriert und analysiert werden kann.

### 3.3.3.6.4 Import und Export von Kapazitätsdaten

Im Modell sind Kapazitäten für die Netzwerkstandorte, für Lagerplätze und optional für Prozesse modelliert. Diese Kapazitätsdaten können über die Schnittstelle importiert und exportiert werden; zum einen für die Verwendung in der Kapazitätssimulation, die im Verbundprojekt entwickelt wurde (siehe Kapitel 3.2.1.6), zum anderen um Ergebnisse dieser Simulation und Daten aus anderen Systemen zu übernehmen. Die Kapazitäten für Standorte und Prozesse werden im Prototyp in der Einheit ‚m<sup>3</sup>/Tag‘ importiert und exportiert (siehe Abbildung 105) und sind artikelgruppenunspezifisch gültig.

<b>Standortkapazitäten</b>			
Standortname	Durchsatz m <sup>3</sup> pro Tag	Lagertyp (Boden/Regal)	Lagerkapazität
<i>Text eingeben</i>	<i>Durchsatz eingeben</i>	<i>Lagertyp eingeben</i>	<i>Kapazität eingeben</i>
<i>Text eingeben</i>	<i>Durchsatz eingeben</i>	<i>Lagertyp eingeben</i>	<i>Kapazität eingeben</i>
<b>Prozesskapazitäten</b>			
Prozessname (Hauptprozess)	Durchsatz m <sup>3</sup> pro Tag	Lagertyp (Boden/Regal)	Lagerkapazität
<i>Text eingeben</i>	<i>Durchsatz eingeben</i>	<i>Lagertyp eingeben</i>	<i>Kapazität eingeben</i>

Abbildung 105: Format der Import- / Exportschnittstelle Kapazitäten

Bei Lagern wird zwischen Boden- und Regallager unterschieden. In Abhängigkeit von diesem Lagertyp wird die Einheit ‚m<sup>2</sup>‘ (Bodenlager) bzw. ‚Stellplätze‘ (Regallager) vorgegeben.

### 3.3.4 Anwendungsspektrum des Softwarewerkzeugs und Abgrenzung zu bestehenden Tools

Die konzipierte Software kann nur erfolgreich in ein marktfähiges Produkt überführt werden, wenn die Anwender für die einzelnen Funktionen bzw. Module definiert sind und wenn der Einsatzzweck und –ort der Software als Gesamtes klar sind. Deshalb wird in Ergänzung zur Zuordnung von Funktionen zu Anwendern (siehe Lastenheft im Anhang) im folgenden das Anwendungsspektrum für eine PNK-Software auf Basis des entwickelten Prototypen vorgestellt. Dieses Spektrum reicht vom Einsatz im Vertrieb bis zur Anwendung in der Prozess- und Netzwerkplanung und umfasst Planungs- und Betriebsphase eines Produkts.

In Abbildung 106 ist skizziert, wie sich der Planungsaufwand für Produkt, Prozesse und Netzwerk über den Produktlebenszyklus der im Verbundprojekt adressierten Güter verteilt. Auf diesen Zyklus bezogen kann der Einsatz der Software in den Phasen

Planung und Betrieb unterschieden werden. In der Planungsphase, während der Konzeption und Entwicklung des Produkts, werden mit Hilfe der Software Planungsszenarien verglichen, um Prozesse und Netzwerk optimal zu strukturieren. Hierzu sind die Module „Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk“ und „Verwaltung von Kapazitäten und Bedarf im Netzwerk“ maßgeblich einsetzbar.

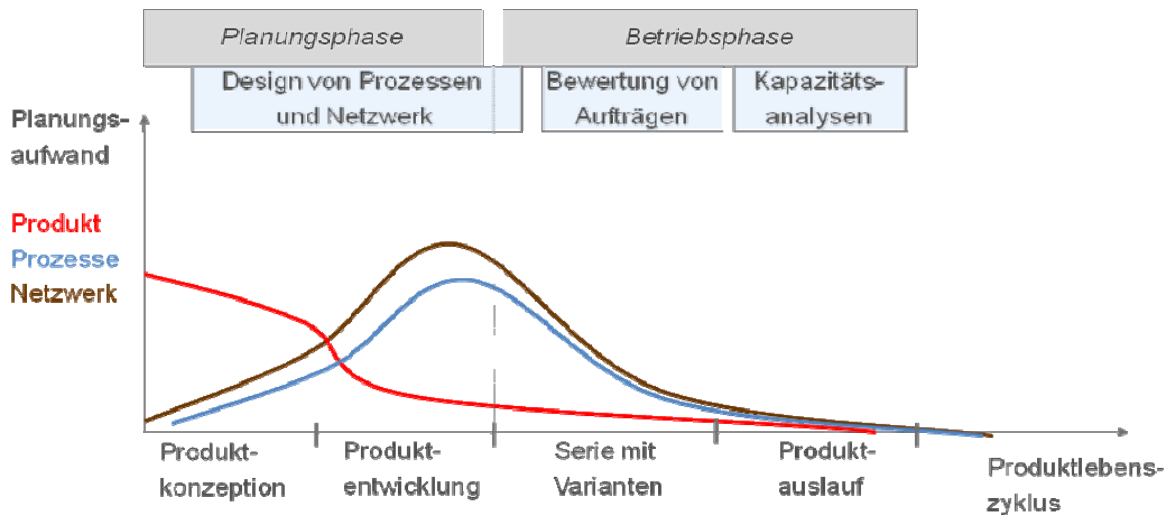


Abbildung 106: Planungsaufwand und Einsatz der Software in den Phasen des Produktlebenszyklus

In der Betriebsphase, wenn die Bewertung von Aufträgen bzw. Varianten im Vordergrund steht, werden dementsprechend dann die Module „Bewertung von Aufträgen“ und „Verwaltung von Kapazitäten und Bedarf im Netzwerk“ eingesetzt. Da sich auch in der Betriebsphase die Notwendigkeit ergibt, das Netzwerk und die Prozesse grundlegend neu zu planen, kann das Modul „Design und Bewertung von Prozessen und Netzwerk“ in dieser Phase zum Einsatz kommen.

### 3.3.4.1 Einsatz im Vertrieb

Schwerpunkt des Einsatzes der Softwarelösung im Vertrieb ist die Ermittlung von (Plan-) Kosten und Durchlaufzeiten für kundenspezifische Auftragsvarianten in der gewünschten Menge. Die so ermittelten Kosten dienen einer ersten Bewertung des Auftrags, um dem Kunden gegenüber eine Aussage zum Verkaufspreis machen zu können, der auf variantenspezifischen Prozesskosten beruht<sup>64</sup>. Die ermittelten Planzeiten für die Fertigstellung des Auftrags sind ebenfalls als Anhaltspunkt zu verste-

<sup>64</sup> Materialkosten sind im hinterlegten Modell nur als ungefährender Wert enthalten; variantenspezifische Materialkosten müssen aus anderen Datenquellen bezogen werden.

hen, weil sie die Korrelation mit anderen Aufträgen und die reale Auslastung von Lieferanten, Maschinen und Personal nicht berücksichtigen. Da für die Anwendung der Software Kenntnisse über Eigenschaften von Produkt, Prozessen und Netzwerk erforderlich sind, ist die Bedienung der Software durch den Endkunden im jetzigen Entwicklungsstand nicht vorgesehen. Ein Vertriebsmitarbeiter führt die Konfiguration entsprechend des Kundenwunsches und der Vorkenntnisse durch und verwendet die Ergebnisse als Ausgangsbasis für ein kundenspezifisches Angebot.

#### **3.3.4.2 Einsatz in der Prozess- und Netzwerkplanung**

Die Prozesse und das logistische Netzwerk der Bezugsunternehmen – Hersteller komplexer, variantenreicher Güter – unterliegen regelmäßigem Wandel durch Änderungen am Produkt u.ä., die kurzfristige oder dauerhafte Anpassung an Aufbau und Parametern der Prozesse und des Netzwerks erforderlich machen. Deshalb müssen diese regelmäßig oder ereignisgesteuert neu geplant werden. Die Software wird dann eingesetzt, um auf Basis aktualisierter Daten alternative Szenarien zu entwickeln und diese mit dem Ist-Zustand in Bezug auf Kosten, Durchlaufzeiten und logistische Parameter (Bestände, Reichweiten etc.) zu vergleichen.

Die Funktionen des Moduls „Planung von Prozessen und Netzwerk“ sind geeignet, um die aktualisierten Daten zu übernehmen und die Alternativszenarien zu modellieren. Die Analysefunktionen ermöglichen es, Potenziale für Verbesserungen in den Prozessen und im Netzwerk im Ist-Zustand zu identifizieren, auf die beim Erstellen der Szenarien besonderes Gewicht gelegt wird. Nachdem die Alternativszenarien entworfen und modelliert wurden, können sie separat und im Vergleich zum Status-Quo analysiert werden.

Der Netzwerkplaner oder Supply-Chain-Verantwortliche sowie Prozessplaner oder verantwortliche Mitarbeiter einzelner Abteilungen des Unternehmens haben dadurch die Möglichkeit, Prozesse und das Netzwerk kontinuierlich auf einer gleich bleibenden Datenbasis zu planen und zu optimieren. Die Skalierung des Prozess- und Netzwerkdatenmodells erlaubt es, sowohl einzelne Bereiche als auch die gesamten modellierten Strukturen zu bearbeiten.

#### **3.3.4.3 Betrieb der Software bei fokalen Unternehmen**

In diesem Betreiberkonzept wird die Software beim fokalen Unternehmen des Produktionsnetzwerks, das ist i.d.R. der Hersteller des Endprodukts, eingesetzt. Das

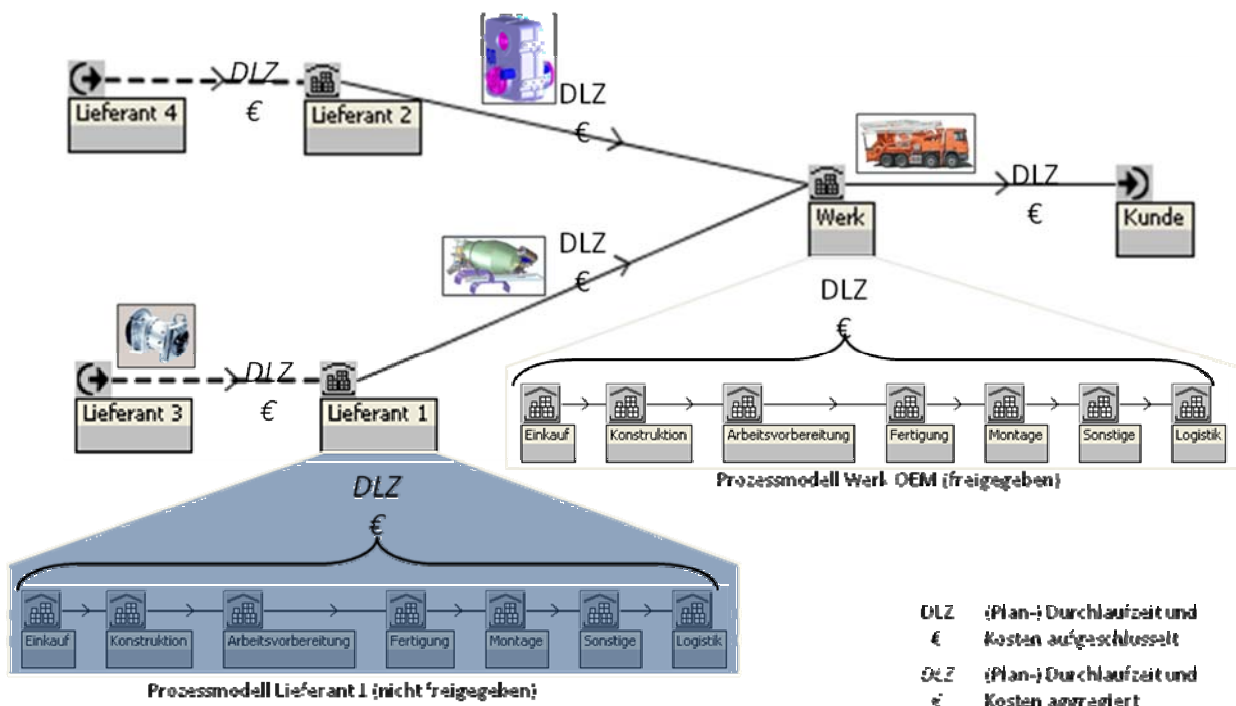
Produktionsnetzwerk wird als Versorgungsnetzwerk dieses fokalen Unternehmens modelliert und die Daten befinden sich in dessen System. Konfigurationen und Auswertungen können dementsprechend nur in diesem Netzwerk – nicht in den nachgelagerten Netzwerken der Zulieferer – durchgeführt werden.

Dieses Betreiberkonzept wurde im Prototyp realisiert.

### 3.3.4.4 Verteilten Betrieb der Software im Netzwerk

Dieses Betreiberkonzept sieht vor, dass die Software bei möglichst vielen Unternehmen im Produktionsnetzwerk eingesetzt wird und dass diese Instanzen der Software miteinander verknüpft sind und Daten austauschen. Jeder Netzwerkpartner, der die Software einsetzt, kann den für ihn jeweils relevanten Teil des Netzwerks modellieren und analysieren. Diese Datenmodelle können von anderen Unternehmen nicht eingesehen werden, solange der jeweilige „Eigentümer“ keine Freigabe erteilt hat (siehe Abbildung 107). Für Analysen und die Konfiguration über mehrere Stufen des Netzwerks hinweg kann jedoch auf aggregierte Daten zurückgegriffen werden.

Dieser Zugriff wird von den Instanzen der Software bei den beteiligten Partnern entsprechend der zugeteilten Rechte gesteuert. Ein Gesamtmodell des Netzwerks liegt demnach an keiner Stelle vor; die Datendefinitionen sind deshalb von herausragender Bedeutung, um ein reibungsloses Zusammenspiel der Instanzen und Teilmodelle zu gewährleisten.



DLZ iPlan-j Durchlaufzeit und  
 € Kosten aufgeschlüsselt  
 DLZ iPlan-j Durchlaufzeit und  
 € Kosten aggregiert

Abbildung 107: Konzept für den verteilten Betrieb der Software

Als ein erster Schritt zum verteilten Betrieb kann ein externer Dienstleister eingebunden werden, der das gesamte Datenmodell verwaltet und den Instanzen der Software bei den Partnern die jeweils benötigten Daten zur Verfügung stellt. Der Dienstleister ist für das Speichern und für die Sicherheit der Daten verantwortlich, er verwaltet die Zugriffsrechte und stellt diese Dienste den beteiligten Partnern in Rechnung. Falls es sich beim Dienstleister um den Softwareanbieter handelt, übernimmt dieser auch Service und Wartung der Software.

### 3.3.5 Anwendungsfälle (Use-Cases)

Die Funktionen und der Einsatz der Software wird im folgenden anhand von zwei Use-Cases veranschaulicht und interpretiert.

Mit der Software werden entsprechend des in Kapitel 3.3.3.3 beschriebenen Workflows zwei verschiedene Aufträge konfiguriert, die ein Standardprodukt bzw. ein Produkt mit Sonderwünschen abbilden. Anschließend werden die Konfigurationen hinsichtlich der Logistikkosten und der Durchlaufzeit verglichen und die Kapazitätsauslastung wird analysiert<sup>65</sup>.

Basis der Use-Cases bilden die Ergebnisse aus dem Projekt. Als Produktfamilie wurde der PUMI® Fahrmascher mit Betonpumpe der Firma *Putzmeister*, Aichtal, in verschiedenen Varianten verwendet (siehe auch **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die oben beschriebene Meta-Stückliste umfasst die folgenden Hauptkomponenten des PUMI, die von den Projektpartnern, anderen *Putzmeister*-Werken oder externen Lieferanten an den Montagestandort geliefert werden, in einer oder mehreren Varianten.

- Armpaket: Das Armpaket besteht aus dem falt- oder klappbaren Arm und der Leitung, durch die der Beton an die Spitze des Arms gefördert wird. Der Arm kann in drei unterschiedlichen Längen für unterschiedliche Förderweiten geordert werden. Ein Werk des Herstellers fertigt die Pakete.
- Trommel: Die Mischtrommel kann in zwei Größen geordert werden. Ein externer Lieferant liefert die Trommeln.

---

<sup>65</sup> Auf Basis der im Prototypen modellierten Daten zu Produkt, Prozessen und Netzwerk.

- Schaltschrank: Zwei Varianten unterschiedlicher Größe stehen zur Verfügung. Sie werden von einem externen Lieferanten bezogen.
- Steuerschrank: Enthält die elektronische Steuerung der Aufbauten. Zwei Varianten können von einem Lieferanten bezogen werden.
- Verteilergetriebe: Das Verteilergetriebe ist nur erforderlich, wenn das Fahrwerk (Chassis) über keinen Nebenantrieb verfügt. Es ist somit ein optionales Bauteil. Das Verteilergetriebe wird von einem Lieferanten bezogen.

Die Prozesse zur Auftragsabwicklung wurden für die Use-Cases im Prototypen beispielhaft in zwei Funktionsbereichen, Konstruktion und Montage, abgebildet. Wie oben beschrieben, werden den Auftragsstypen Haupt- Teilprozessen zugeordnet, die mit Dauer und Kosten hinterlegt sind. Im Funktionsbereich Konstruktion besteht die Prozesskette aus elf Hauptprozessen mit insgesamt 22 Teilprozessen. Im Funktionsbereich Montage sind sechs Hauptprozesse und 20 Teilprozesse abgebildet.

Das Netzwerkmodell umfasst neben dem Montagewerk und einem Kundenstandort die Netzwerkpartner (Lieferanten), die für die Lieferung der oben beschriebenen Hauptkomponenten erforderlich sind und die Transportbeziehungen zwischen den Standorten. Diese enthalten Transportmittel und –tarife, die für die Ermittlung der Kosten erforderlich sind, sowie die Geschwindigkeiten der Transportmittel für die Berechnung der Transportdauer. An den Standorten der Lieferanten sind die Liefer- bzw. Produktionskapazitäten und die Standard-Wiederbeschaffungszeiten hinterlegt.

### **3.3.5.1 Auftragsbewertung**

Im Use-Case Auftragsbewertung werden ein Standardauftrag und ein Sonderauftrag konfiguriert und verglichen. Entsprechend dem skizzierten Workflow werden ein PUMI®, der Auftragstyp zwei (Standard mit geringfügigen Änderungen) zuzuordnen ist, und einer, der Auftragstyp 5 (aufwändige Anpassungen) erfordert, konfiguriert.

Die Software erzeugt nach Abschluss der Konfiguration jeweils ein Netzwerk, das Produkt, Prozesse und Lieferanten sowie deren festgelegten Parameter für die beiden PUMI-Varianten. Diese Netzwerke werden dann bezüglich Kosten und Zeiten



analysiert und anhand der Analyseergebnisse verglichen (Analysemethoden siehe Kapitel 3.3.3.3.4). Das Analyseergebnis demonstriert, dass Standard- und Sondervariante mit bedeutenden Unterschieden in Kosten und Zeiten verknüpft sind<sup>66</sup>:

- Die Kosten für die Logistik und in den Funktionsbereichen (Personalkosten) sind für den Sonder-PUMI etwa 38 % höher als für den Standard.
- Die Auftragsdurchlaufzeit für den Sonderauftrag ist etwa doppelt so hoch wie für das Standardmodell.

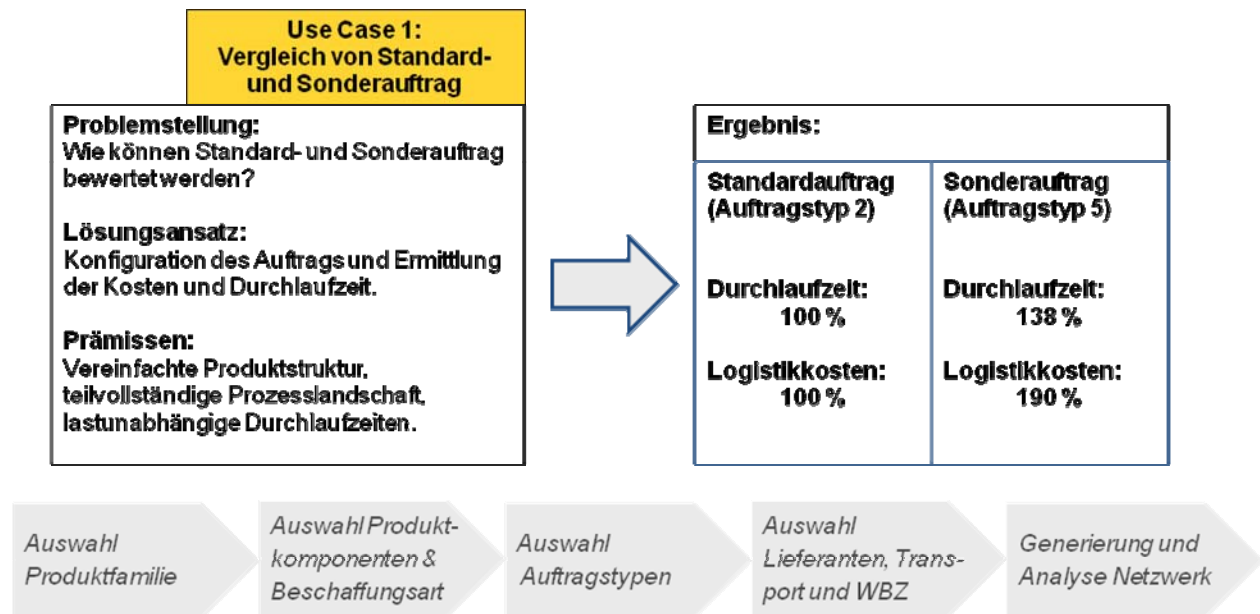


Abbildung 108: Use-Case 1: Ausgangslage, Vorgehen und Ergebnis

Nach Abschluss der Konfiguration und Analyse werden die Netzwerke unter einem eindeutigen Namen gespeichert und sind so für Dokumentation und spätere Verwendungen verfügbar.

### 3.3.5.2 Kapazitätsanalyse

In diesem Use-Case Kapazitätsanalyse wird ein Netzwerk mit Produktvariante und Prozessen, das zuvor wie beschrieben konfiguriert wurde, in Hinblick auf Liefer- bzw. Produktionskapazitäten analysiert und mögliche Reaktionen auf Engpässe vorgeschlagen (siehe Abbildung 109).

<sup>66</sup> Berechnungen auf Basis des teilvollständigen Produkt-, Prozess- und Netzwerkmodells.

Dazu wird zuerst eine Absatzprognose mit monatlichen Zahlen für den Zeitraum eines Jahres über die oben beschriebene Schnittstelle importiert. Die Software bestimmt dann hieraus und aus den im Modell hinterlegten Parametern (Stückliste, Kapazitäten der Lieferanten) die prozentuale Auslastung im Netzwerk im Jahresverlauf.

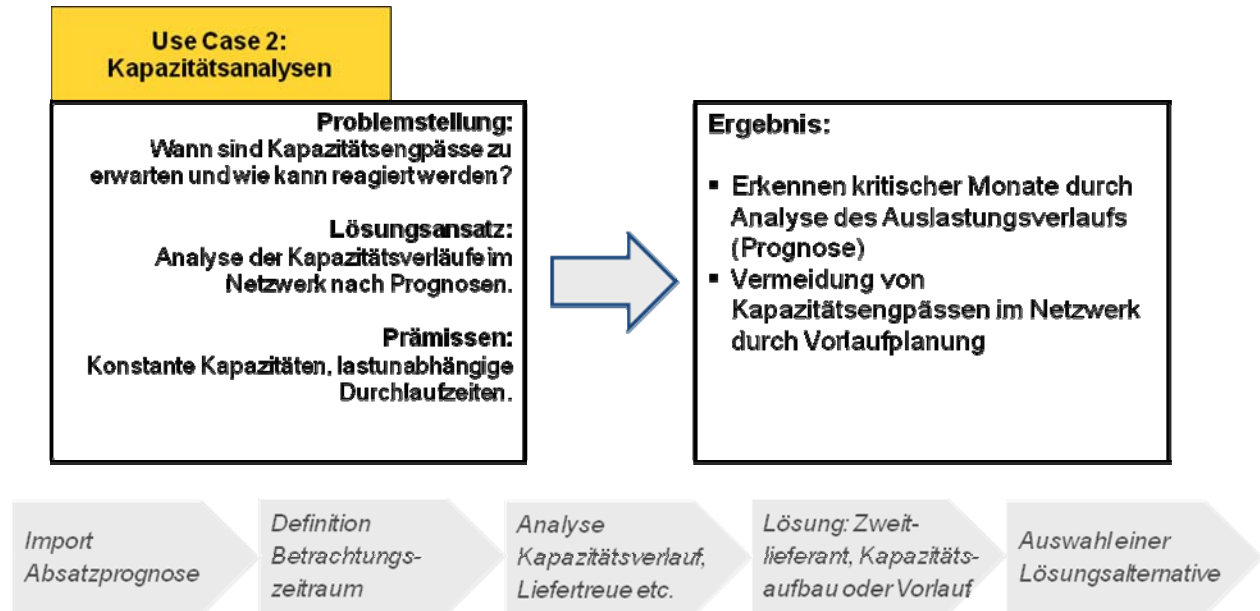


Abbildung 109: Use-Case 2: Ausgangssituation, Vorgehen und Ergebnis

Da diese Analyse im Use-Case<sup>67</sup> bei einem Lieferanten Engpässe prognostiziert, wird im nächsten Schritt ermittelt, welche Rückstände aufgrund der Absatzprognose bei diesem Lieferanten zu erwarten sind und wie diese im Jahresverlauf verteilt sind. Die Software bietet dann die Möglichkeit, Vorläufe zu prognostizieren, die geeignet sind, um die Rückstände zu vermeiden. Dadurch wird dem Anwender eine Analyse des Problems, nämlich die Rückstände aufgrund fehlender Kapazitäten, zur Verfügung gestellt und auch ein Ansatz zu dessen Lösung, nämlich das Vorproduzieren von Bedarfen in Monaten mit geringer Auslastung.

### 3.3.5.3 Interpretation der Ergebnisse

Die beiden Use-Cases zeigen Lösungswege für konkrete Probleme mit Hilfe der Software. Aufträge können mit Hilfe des Use-Cases 1 schnell bewertet und in Vergleich zu einem Standardauftrag gesetzt werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Qualität des Ergebnisses davon abhängt, welche Daten zu Produkt, Prozessen

<sup>67</sup> Auf Basis der modellierten Kapazitäten.

und Netzwerk modelliert wurden und selbst bei weit reichender Abbildung der Realität die Ergebnisse eher als Anhaltspunkt denn als belastbare Zahl zu verstehen sind. Dies ist vor allem darin begründet, dass Wechselwirkungen zwischen den konfigurierten Aufträgen und dem gesamten Produktionsprogramm sowie unplanmäßige Einflussgrößen nicht berücksichtigt werden. Deshalb ist die Kommunikation der Ergebnisse insbesondere potenziellen gegenüber Kunden genau zu prüfen.

Auch bei der Interpretation des Use-Case 2 ist zu beachten, dass sich die Ergebnisse der Auslastungsanalyse nur auf einen Ausschnitt des gesamten Produktionsprogramms beziehen. In der Modellierung muss deshalb die korrekte Zuteilung von Kapazitäten zu Produkten bzw. Produktfamilien sichergestellt werden. Bei der Bestimmung des Vorlaufs ist dementsprechend zu berücksichtigen, dass die angenommenen freien Kapazitäten für das Vorproduzieren auch tatsächlich zur Verfügung stehen.

### 3.4 Betriebswirtschaftliche Bewertung von Prozessen und Produktvarianten

Dieses Kapitel des BAU-MO-2008 F&E-Berichts beschreibt das im Rahmen von BAU-MO 2008 entwickelte Konzept zur Bewertung von Varianten auf Bauteile- und Baugruppenebene. Das entwickelte Konzept beinhaltet eine Vorgehensweise für die Durchführung von Variantenbewertungen, ein Tool auf Excel-Basis zur Unterstützung der Bewertung sowie eine Beschreibung der organisatorischen Etablierung eines Variantenbewertungsprozesses.

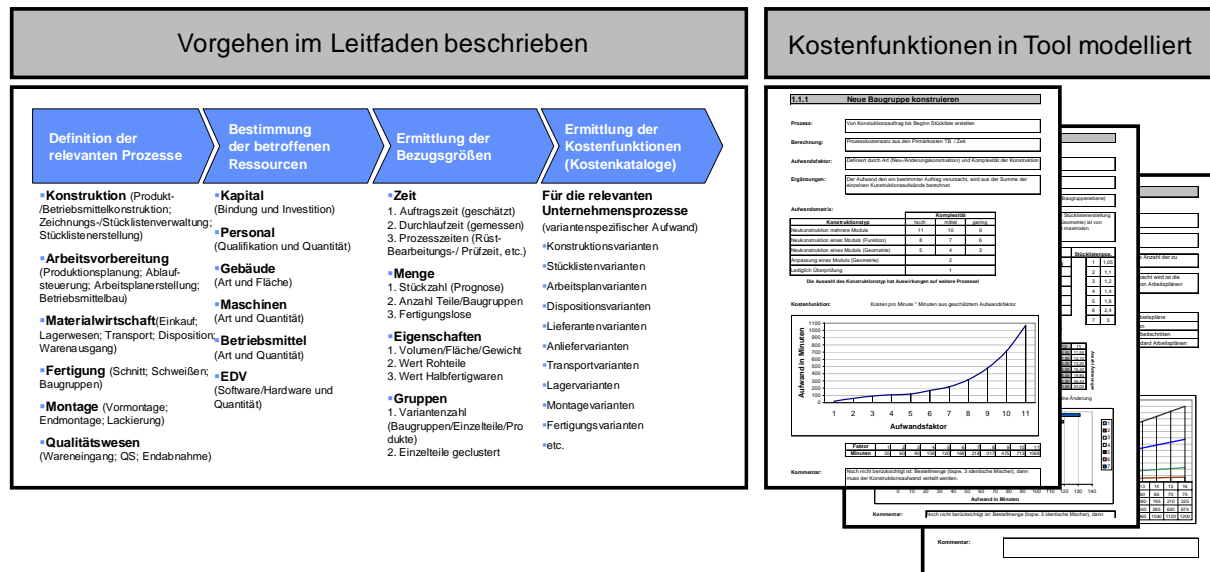


Abbildung 110: Gesamtlösung aus Leitfaden und Tool

Dieses Kapitel gliedert sich in vier Teile. Zunächst werden die Grundlagen zu Varianten und den Lösungsansätzen des Variantenmanagements vorgestellt. Im zweiten Teil werden die Anforderungen und die methodischen Grundlagen für eine Variantenbewertung beschrieben. Daran anschließend folgt die Beschreibung der Vorgehensweise zur Variantenbewertung sowie des Tools. Im letzten Kapitel schließlich wird die Anwendung des Konzepts in einem Praxisbeispiel aus dem Projekt BAU-MO 2008 dargestellt.

#### 3.4.1 Varianten und Variantenvielfalt

Die Branche des Maschinen- und Anlagenbaus ist gekennzeichnet durch eine hohe Variantenvielfalt der Produkte. Hauptgrund für diese hohe Vielfalt sind die individuellen Lösungen, die Kunden fordern und von den Unternehmen erhalten. Gerade im Baumaschinenbereich zeichnen die Unternehmen sich dadurch aus, beinahe jeden Kundenwunsch erfüllen zu können. Die Folge sind historisch gewachsene Produkt-

programme und Produktvarianten, die zu einer Vielzahl von Produkt- und Prozessvarianten führen.<sup>68</sup> Dies führt zu einer erhöhten Komplexität in der gesamten Wertschöpfungskette.

Eine hohe Variantenvielfalt kann sich sowohl positiv als auch negativ auf den Erfolg von Unternehmen auswirken - entscheidend ist der Umgang mit den Varianten.<sup>69</sup>

Die kostentreibenden Wirkungen einer zunehmenden Variantenvielfalt treten bereichsübergreifend entlang des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses auf. Abstimmungsprozesse zwischen einzelnen Bereichen können erschwert werden, der Koordinationsaufwand intern, aber auch zu Lieferanten kann zunehmen. Diese Aufwände fallen vor allem in den indirekten Bereichen an und sind mit den gängigen Kalkulationssystemen nicht zu erfassen.

Die in der Praxis weit verbreitete Divisionskalkulation bzw. die Zuschlagskalkulation wird den Anforderungen an eine zuverlässige Bewertung der Variantenkosten nicht gerecht. So werden Varianten mit geringen Stückzahlen in der Regel zu niedrige und Standardprodukten zu hohe Kosten zugewiesen.<sup>70</sup>

Der Begriff der Varianten wird wie folgt definiert. Varianten sind „Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Komponenten, die Ähnlichkeiten in Bezug auf zumindest eines der Merkmale Geometrie, Material oder Technologie aufweisen.“<sup>71</sup>

Folgende Abbildung 111 stellt eine Übersicht über verschiedene Variantenbegriffe dar, differenziert nach gängigen Unterscheidungsmerkmalen.

---

<sup>68</sup> Vgl. Franke et al. (2002), S.3f.; Heina, J. (1999), 23ff.

<sup>69</sup> Vgl. Franke, H.-J. et al. (2002), S.1.

<sup>70</sup> Vgl. Heina, J.(1999), 63f.; Horváth, P. (2006).

<sup>71</sup> Vgl. Lingnau, V. (1994).

Unterscheidungsmerkmal	Variantenbegriffe			
Variantenebene	Produktvariante		Baugruppenvariante	Teilevariante
Auftrittshäufigkeit	Standardvariante	Vorzugsvariante	Sonderausführung (Hypothetisch/ theoretisch möglich)	Kundenauftragsvariante
Technische Kriterien	Geometrische (Form- und Maßvariante)		Materialvariante	Technologievariante
Variantenfestlegung	herstellerspezifische Variante		Kundenspezifische Variante	
Variantenstruktur	einfache Variante	gemischt komplexe Variante		komplexe Variante
Strukturelle Kriterien	alternativ: Kannvariante		additiv: Mußvariante bzw. Kann-Muss-Variante	
Subjektive Wahrnehmung	periphere Variante		fundamentale Variante	

Abbildung 111: Systematisierung der Variantenbegriffe<sup>72</sup>.

Produkte bestehen aus verschiedenen Baugruppen und Einzelteilen; Baugruppen bestehen wiederum aus Einzelteilen.<sup>73</sup>

Es wird zwischen interner und externer Varianz unterschieden. Externe Varianz bezeichnet die durch Kunden, Markt und Wettbewerb induzierte Variantenvielfalt. Interne Varianz bezeichnet die Entstehung von Varianten auf Grund von technischen Weiterentwicklungen, Änderungskonstruktionen (und insbesondere in Folge unzureichender Dokumentation).<sup>74</sup>

Die externe Varianz ist für Unternehmen oftmals zum einen nicht oder nur schlecht vermeidbar (bspw. Vorschriften für unterschiedliche Märkte) und zum anderen ermöglicht sie die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen (bspw. Erfüllen von Kundenwünschen, Besetzen von Nischenmärkten, etc.).<sup>75</sup>

Die externe Varianz tritt als Angebotsvielfalt auf Endprodukteebene auf, die interne Varianz in der Produktion von Unternehmen auf Baugruppen- oder Teileebene.<sup>76</sup> Interne Variantenvielfalt kann als Resultat von Informationsdefiziten, Over-Engineering oder einer erhöhten Erwartungshaltung des Unternehmens abgeleitet werden.<sup>77</sup>

<sup>72</sup> Quelle: Heina, J.(1999), S. 6

<sup>73</sup> Vgl. Heine, J. (1999), S.7

<sup>74</sup> Vgl. Franke, H.-J.(2002), S.13.

<sup>75</sup> Vgl. Wüpping, J. (1998), S.49f.; Jeschke, A. (1997), Franke, H.-J.(2002), S.13f.

<sup>76</sup> Vgl. Westkämper/Bartuschat (1993)

<sup>77</sup> Vgl. Heina, J. (1999), S.16f.; Franke, H.-J. et al. (2002), S.13.

### 3.4.2 Variantenmanagement

Auf Grundlage der zunehmenden Variantenzahl ist es Ziel des Variantenmanagements interne Vielfalt zu reduzieren und gleichzeitig die extern geforderten Kundenbedürfnisse nach Variantenvielfalt zu befriedigen.<sup>78</sup>

Ansätze zur Lösung der Variantenvielfalt bieten die Variantenvermeidung, Variantenreduktion und Variantenbeherrschung.<sup>79</sup> Allen ist gemeinsam, dass sie als strategische Lösungsansätze verstanden werden, deren Ziel eine variantengerechte Optimierung der Produkt- und Produktionsstruktur auf Basis der Produktdefinition und -standardisierung ist. Dadurch soll das übergeordnete Ziel einer optimalen Kosten-Nutzen-Relation in der Erbringung des Variantenspektrums liegen, damit eine Umsetzung von Wettbewerbs- und Produktstrategien sichergestellt werden kann.<sup>80</sup> Als operative Aufgabe des Variantenmanagements ist die effiziente und reibungslose Gestaltung der Prozesse in Vertrieb, Konstruktion, Materialwirtschaft sowie Fertigung und Montage durch die vorgegebene Variantenvielfalt zu sehen.<sup>81</sup>

#### Variantenvermeidung

Eine Lösung der Variantenvermeidung ist im Produktfamilienkonzept und einer variantengerechten Konstruktion zu sehen. Im Produktfamilienkonzept wird die Variantenvielfalt durch ein Baukastensystem und Modulkonzept reduziert.

#### Variantenreduzierung

Dieser Lösungsansatz knüpft an den Varianten eines Produktprogrammes an und zielt im Wesentlichen auf eine Senkung der Gemeinkosten durch innerbetriebliche Komplexitätsreduktion ab.<sup>82</sup> Die Komplexitätsreduktion kann dabei sowohl auf der Ebene der Teilevielfalt als auch auf der Ebene der Angebotsvielfalt erwirkt werden. Auf Angebotsebene wird unter Berücksichtigung des gesamten Produktprogramms eine systematische Analyse, der am Markt angebotenen Leistungen durchgeführt.

---

<sup>78</sup> Vgl. Franke, H.-J. et al. (2002), S.13f.

<sup>79</sup> Vgl. Heina, J. (1999), S.47ff.

<sup>80</sup> Vgl. Heina, J. (1999), S.40.

<sup>81</sup> Vgl. Franke, H.-J. (2002), S.22.

<sup>82</sup> Vgl. Heina, J. (1999), S.51.

Auf Basis dieser marktbezogenen Ergebnisse werden diejenigen Varianten aus dem Produktionsprogramm eliminiert, welche als nicht erfolgsversprechend gelten. Gleichzeitig ist die Möglichkeit einer Reduktion bestimmter Kundengruppen, Halberzeugnisvielfalt und Rohstoffvielfalt gegeben.<sup>83</sup>

### Variantenbeherrschung

Entgegen der Variantenvermeidung und -reduzierung zielt die Variantenbeherrschung nicht auf Kosteneffizienz ab. Vielmehr sieht sie organisatorische und fertigungstechnische Maßnahmen vor, um die durch Nachfrager resultierende Variantenvielfalt und Variantenerweiterung zu beherrschen. Als Lösungsansatz werden eine variantengerechte Organisationsform, die Verlagerung des Variantenentstehungszeitpunktes, die Fremdvergabe von Teilleistungen und eine Flexibilisierung von Fertigungsanlagen vorgeschlagen.<sup>84</sup>

## **3.4.3 Variantenbewertung**

### **3.4.3.1 Aufgaben**

Auf Basis der beschriebenen Situation und Effekte durch eine hohe Variantenvielfalt lassen sich folgende Anforderungen bzw. Aufgaben für eine Variantenbewertung ableiten:

- Frühzeitige Kostenschätzung
- Variantenkalkulation
- Bereitstellung von Kennzahlen zur Steuerung der Variantenvielfalt
- Analyse der Kostenstruktur

Unternehmen, die auftragsbezogene Kleinserien fertigen oder auftragsbezogen konstruktiv noch nicht umgesetzte Produktvarianten anbieten, stehen vor der Herausforderung auf Basis eines niedrigen Informationsstandes möglichst präzise Kostenabschätzungen für Produktvarianten abzugeben. Gleiches gilt bei der Eliminierung oder Einführung neuer Varianten auf Bauteilebene. Auch hier werden Kostenprognosen für Aufwände im Bereich der Entwicklung / Konstruktion benötigt.

---

<sup>83</sup> Vgl. Kaiser, A. (1995), S.59.

<sup>84</sup> Vgl. Heina, J. (1999), S.53; Kaiser, A. (1995), S.59f.



Dabei muss die Prognose den Anforderungen der Zuverlässigkeit, der schnellen Durchführbarkeit und des geringen Ressourcenaufwands genügen.

Um als Entscheidungsunterstützung fungieren zu können, muss die Variantenbewertung eine Analyse der Kostenstruktur nach zeitlicher Abbaufähigkeit ermöglichen. Die Darstellung von Kostenremanenz kann bspw. durch einen separaten Ausweis abbaubarer Fixkosten innerhalb eines definierten Zeitraums (bspw. 6 Monate, 12 Monate) erfolgen.

### 3.4.3.2 Methodische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die methodischen Grundlagen, die der Variantenkostenanalyse zu Grunde liegen, erläutert.

Ziel der Prozesskostenrechnung

Die Prozesskostenrechnung (PKR) ist eine Methodik zur Erfassung, Planung, Steuerung und Verrechnung kostenstellenübergreifender Prozesse. Das Konzept des Time-Driven Activity-Based Costing (TD ABC) stellt eine Weiterentwicklung von prozessorientierten Kostenrechnungssystemen, wie des Activity-Based-Costing (ABC) und der Prozesskostenrechnung dar.<sup>85</sup> Diese beiden Systeme beruhen auf der gleichen Grundidee, stellen jedoch zwei verschiedene Varianten derselben dar. Die PKR verfolgt dabei anders gelagerte Zwecke und ist den Besonderheiten der deutschen Kostenrechnungspraxis angepasst.<sup>86</sup> Die Entwicklung des TD ABC folgt verschiedenen Kritikpunkten der klassischen PKR. So weisen Kaplan/Cooper darauf hin, dass die Kosten von genutzten Ressourcen bzw. Kapazitäten getrennt von den Kosten durch nicht genutzte Kapazitäten ausgewiesen werden sollten.<sup>87</sup> Beinhaltene Prozesskostensätze sowohl Nutz- als auch Leerkosten, kann durch einen Absatzrückgang, z.B. durch Konjunkturschwankungen, eine Abwärtsspirale in Gang gesetzt werden, da die Prozesskostensätze nun steigen. Traditionell werden in der PKR die Prozesskostensätze durch Division der Hauptprozesskosten durch die erwarteten oder tatsächlichen Kostentreiber-Mengen ermittelt. Da die meisten Kosten für die indirekten Bereiche kurz- und mittelfristig fixe Kosten sind, bleiben die Hauptprozess-

---

<sup>85</sup> Vgl. Coners/von der Hardt (2004), S.110

<sup>86</sup> Vgl. Horváth (2006), S.554

<sup>87</sup> Vgl. Kaplan, Cooper (1999), S.149ff.

kosten konstant, und führen bei sinkenden Cost Driver Mengen zu steigenden Prozesskostensätzen, die nun auch die Kosten der nicht genutzten Kapazitäten enthalten. Werden diese nun den Kunden auferlegt, könnte dies zu einem weiteren Absatzrückgang führen, was in der Folgeperiode erneut höhere Prozesskostensätze zur Folge hätte.<sup>88</sup>

Um dieses Risiko des „Herauskalkulierens aus dem Absatzmarkt“ auszuschließen, sollte die Ermittlung der Prozesskostensätze auf Basis der Kostentreibermengen erfolgen, die die maximal zur Verfügung stehenden Kapazitäten der Ressourcen berücksichtigen.<sup>89</sup> „When resources can perform multiple activities, capacity must be measured at the resource level, not the activity level.“<sup>90</sup> Dadurch wird ein separater Ausweis von Nutz- und Leerkosten ermöglicht. Dies ist bei der traditionellen Prozesskostenrechnung jedoch nicht möglich, da die Kostenstellenkapazitäten vollständig auf die Prozesse verteilt und die Prozesskostensätze auf Basis der realisierten Kostentreibermengen berechnet werden, weil die maximal leistbaren Mengen unbekannt sind.<sup>91</sup> An dieser Stelle wird bereits der Nutzen des TD ABC für die Bewertung von Variantenkosten ersichtlich. Durch den direkten Ausweis von Nutz- und Leerkosten bzw. -kapazitäten erhalten Unternehmen im Rahmen von variantenbezogenen Entscheidungen kapazitätsbezogene Informationen für die indirekten Bereiche. Dies ermöglicht eine bessere Planung der teilweise fixen Gemeinkosten.

Ein weiterer Mangel der Prozesskostenrechnung stellt die Ermittlung der Prozessbearbeitungszeiten über pauschale Durchschnittswerte dar.<sup>92</sup> Gerade bei Varianten unterscheiden sich die Bearbeitungszeiten gleicher Prozesse situationsabhängig, beispielsweise in Abhängigkeit der Komplexität des betroffenen Produktes. In der PKR müssten zur verursachungsgerechten Abbildung eine Vielzahl detaillierter Teilprozesse und teilprozessspezifischer Maßgrößen angelegt werden, was zu einer deutlichen Erhöhung der Modellkomplexität und des Wartungsaufwandes führen würde.<sup>93</sup> Ziel muss es jedoch sein, Kostenrechnungssysteme und Sonderrechnungen

---

<sup>88</sup> Vgl. Kaplan/Cooper (1999), S.155f.

<sup>89</sup> Vgl. Coners, von der Hardt (2004), S.110; Kaplan/Cooper (1999), S.156

<sup>90</sup> Kaplan/Cooper (1998), S.292

<sup>91</sup> Vgl. Bruggemann/Moreels (2003), S.56-57

<sup>92</sup> Vgl. Coners/von der Hardt (2004), S.110.

<sup>93</sup> Vgl. Bruggemann/Moreels (2003), S.56.

einfach zu halten und einen zu großen Aufwand zu vermeiden, um die Benutzerakzeptanz sicher zu stellen.

Das Konzept des TD ABC vermeidet diese Erhöhung der Komplexität, indem jeder Teilprozess mit einer Zeitverbrauchsfunktion hinterlegt werden kann. Dies ermöglicht, jedem Teilprozess in Abhängigkeit von bekannten Einflussfaktoren, eine verursachungsgerechte, individuelle Sollzeit zuzuordnen.<sup>94</sup> Dadurch erfolgt eine intensitätsmäßige Anpassung an den Komplexitätsgrad des zu bearbeitenden Objektes. Dies bedeutet wiederum „nichts anderes, als dass anhand bestimmter Eigenschaften der Geschäftsvorfälle eine Justierung des Zeitbedarfs (ZE/ME) oder andersherum ausgedrückt eine Justierung der pro Zeiteinheit leistbaren Mengeneinheiten (ME/ZE) erfolgt.“<sup>95</sup> Dieser Ansatz kommt somit dem Problem der hohen Heterogenität der zu erbringenden Leistungen in Abhängigkeit von Varianten entgegen und eignet sich daher für den Einsatz für eine Variantenbewertung.

### **3.4.3.3 Toolbasierte Variantenbewertung**

Diese Kapitel beschreibt das Konzept und Vorgehen zur Bewertung von Varianten auf Bauteil- und Baugruppenebene. Dazu wird zuerst ein Überblick über die Vorgehensweise mit den entsprechenden Schritten gegeben und im Anschluss daran die Benutzung des Tools sowie dessen Zweck und Grenzen erläutert.

Das entwickelte Variantenbewertungskonzept versteht sich als Sonderrechnung, die nicht in bestehende Kostenrechnungssysteme integriert wird. Vielmehr baut sie auf den daraus gelieferten Daten auf und verwendet diese zur Kalkulation der variantenspezifischen Kosten.

Das Konzept ermöglicht die Prognose der Kostenauswirkungen von Variantenanzahländerungen auf Baugruppen- und / oder Bauteileebene. Berücksichtigt werden hierbei nicht nur Herstellkosten, sondern auch in indirekten Bereichen anfallende Kosten. Ziel ist die Unterstützung des Unternehmens bei der Entscheidung über die Reduzierung der internen Varianz bzw. Variantenvielfalt auf Bauteil- bzw. Baugruppenebene.

---

<sup>94</sup> Vgl. Coners/van der Hardt (2004), S.113.

<sup>95</sup> Coners/van der Hardt (2004), S.112.

Auf Basis des Ergebnisses dieser Bewertungsfunktion kann der Konstrukteur eine Entscheidung treffen, ob er eine neue Variante erzeugt bzw. Varianten reduziert. Das Ergebnis kann darüber hinaus Ausgangspunkt für weitere Analysen sein.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise für die Ein- und Durchführung von Variantenbewertungen ausführlich beschrieben.

#### **3.4.3.4 Vorgehensweise zur Variantenbewertung**

##### 1. Bestimmung der zu berücksichtigenden Funktionsbereiche

Der erste Schritt stellt die Bestimmung der Funktions-Bereiche dar, die durch Variantenveränderungen betroffen sind. Dies sind in erster Linie die am Auftragsabwicklungsprozess beteiligten Funktionsbereiche. Indirekte Bereiche wie Personal, Controlling und / oder Rechnungswesen sind von Variantenentscheidungen in aller Regel nicht betroffen.

Zur Ermittlung der betroffenen Bereiche eignen sich die Methoden der Prozessanalyse und Interviewtechnik. Als Vorgehensweise bietet sich an, eine konkrete Variantenentscheidung im Unternehmen zu begleiten und diesen Prozess und die daran beteiligten Abteilungen und Rollen zu dokumentieren.

##### 2. Prozesskostenanalyse und Kostentreiberidentifikation

Im zweiten Schritt erfolgt eine Prozesskostenanalyse in den identifizierten Funktionsbereichen.

Dabei werden zwei Schritte durchgeführt. Im ersten erfolgt die Ermittlung der Kosten eines Prozesses durch Zuordnung der bewerteten Ressourceninanspruchnahme aller Kostenstellen, die für den Prozess Leistungen erbringen. Im zweiten Schritt erfolgt die Weiterverrechnung der ermittelten Prozesskosten an Leistungsnehmer anderer Unternehmensbereiche oder auf ein Produkt im Rahmen der Produktkalkulation.

Die erste Phase stellt die Prozessanalyse dar, in deren Rahmen ein Prozessmodell erstellt wird. Ein Prozessmodell stellt eine abstrahierte Abbildung der Aktivitäten in einem Unternehmen dar. Es ist somit eine idealtypische Darstellung. Ein Prozessmodell ist hierarchisch aufgebaut. Ausgehend von einer frei wählbaren obersten Aggregationsebene (bspw. unternehmensübergreifender Prozess, Teilprozess, etc.) werden in den darunter liegenden Ebenen diese Prozesse in disaggregierter Form dargestellt. Als geeignet haben sich vier Ebenen herausgestellt: Geschäftsprozesse

(bspw. Auftragsabwicklungsprozess), Hauptprozesse (bspw. Produktkonstruktion), Teilprozesse (bspw. Konstruktive Änderungen) und Tätigkeiten (bspw. Anpassen einer bestehenden Stückliste).

Für die Aufnahme der Prozesse empfiehlt sich eine kombinierte top-down und bottom-up Vorgehensweise. Nachdem top-down die wichtigsten Geschäfts-, Haupt- und Teilprozesse bestimmt sind, erfolgt bottom-up eine Zuordnung von Tätigkeiten und Teilprozessen zur jeweils nächst höheren Hierarchieebene.

Jedem Prozess ist eine spezifische Aufgabe und ein definierter Prozessumfang zuzuordnen, um eine Abgrenzung der einzelnen Prozesse sicherzustellen.

Ziel der Prozessanalyse ist es, Abläufe abteilungsübergreifend nach Kosten-, Zeit- und Qualitätskriterien zu beurteilen. Die Bewertung der Prozesse erfolgt nach den Kriterien Kapazitäten und Kosten.

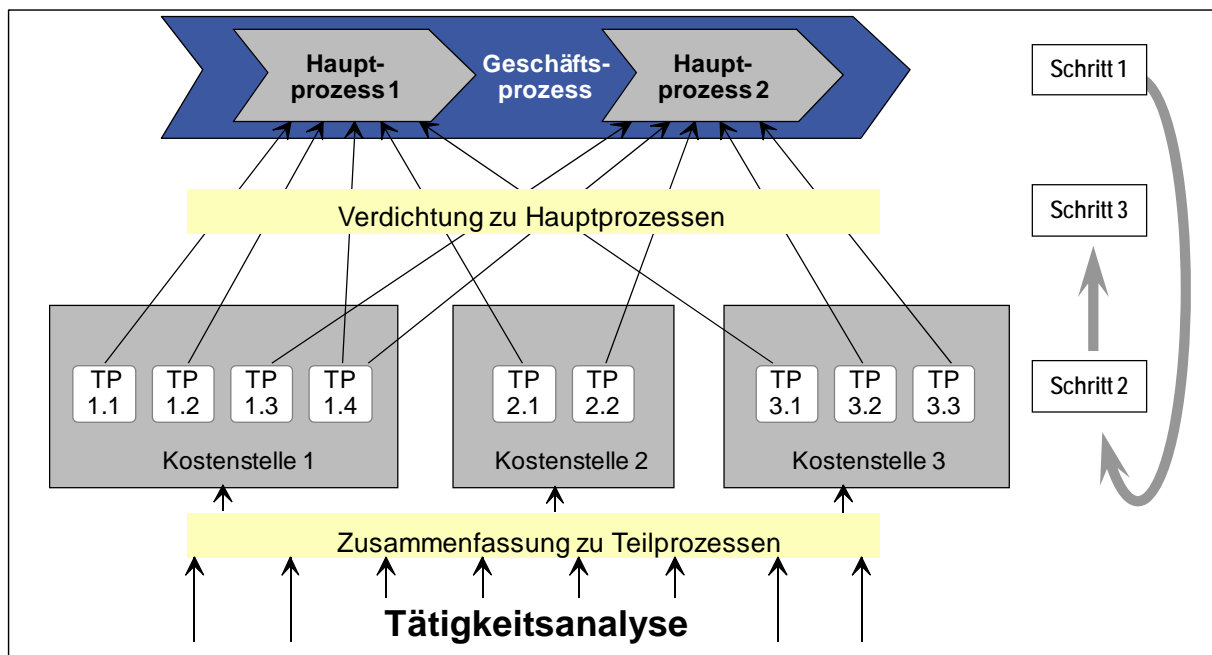


Abbildung 112: Vorgehensweise bei der Prozessanalyse<sup>96</sup>

Die Prozessanalyse kann auf Ebene der Teilprozesse oder Aktivitäten erfolgen. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Einflussstärke einer Variantenänderung

<sup>96</sup> Quelle: Horváth&Partners (2005)

auf die einzelnen Tätigkeiten; bei einem starken Einfluss ist die Tätigkeitsebene zu analysieren.

Mittels Interviews mit den betroffenen Mitarbeitern können hier bereits Prozesse identifiziert werden, die von Variantenentscheidungen stark, leicht oder gar nicht beeinflusst werden. Mittels dieser frühzeitigen ABC-Analyse kann ein zweckorientiertes Prozessmodell entworfen werden und eine zu hohe Komplexität vermieden werden.

Nach der Definition der Prozesse erfolgt die Ressourcenzuordnung zu den Prozessen. Zur Erfassung der Sollzeiten je Teilprozess können entweder Schätzungen im Rahmen von Kostenstelleninterviews vorgenommen, Zeitstudien / Zeitaufschriebe durchgeführt werden oder ggf. auf Zeiterfassungssysteme zurückgegriffen werden. Die Sollzeit umfasst die Netto-Bearbeitungsdauer des Prozesses im Rahmen einer Standardvariante, ohne Berücksichtigung von Rüst- und Verteilzeiten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Erfassung der kompletten Bandbreite der Bearbeitungszeit der einzelnen Prozesse / Tätigkeiten, die durch unterschiedliche Varianten induziert werden.

Die zur Verfügung stehende Netto-Kapazität in einer Kostenstelle berechnet sich anhand der Mitarbeiterzahl und der zur Verfügung stehenden Nettoarbeitszeit der Mitarbeiter in Stunden. Dazu werden von der Anzahl der Arbeitstage eines Jahres (ca. 240) Feiertage, Urlaubs-, Krankheits- und Fortbildungstage abgezogen und mit der Tagesarbeitszeit gemäß Vertrag (als Durchschnittswert für eine Kostenstelle) multipliziert. Davon muss noch die nicht produktive Zeit für betriebliche und persönliche Verteilzeiten abgezogen werden (bspw. mittels eines Produktivitätsfaktors von 80%). Diese können ebenfalls erhoben oder abgeschätzt werden. Abbildung 113 stellt Erfassung- und Rechenlogik des TD ABC dar.

Kostenstellenkosten				1 975.000 Eur	
Nettokapazität (= 80% Bruttokapazität)				8000 h	
Stundenkostensatz				122 Eur/h	

Teilprozess	Sollzeit je Ausführung	Kostensatz	Maßgrößen-Menge	Zeit	Kosten
Prüfen des Kundenauftrags (AT1)	0,50 h	182,8 Eur/ Auftrag	50	25 h	3.047 Eur
Prüfen des Kundenauftrags (AT2)	0,50 h	182,8 Eur/ Auftrag	70	35 h	
...					
Suchen einer ähnlichen Stückliste (AT)	0,50 h	60,9 Eur/ Auftrag	50	25 h	3.047 Eur
...					
Technische Bearbeitung (AT1)	0,75 h	121,9 Eur/ Auftrag	50	37,5 h	4.570 Eur
...					
Genutzte Kapazität				122,5 h	10.664 Eur
Ungenutzte Kapazität				7877,5 h	964.336 Eur
<b>Summe</b>				<b>8000 h</b>	<b>975.000 Eur</b>

3  $0,50 \text{ h} * 122 \text{ Eur/h} =$

Abbildung 113: Funktionsweise des TD ABC am Beispiel Konstruktion<sup>97</sup>

Aus der Multiplikation der Sollzeiten je einmaliger Teilprozessdurchführung (Nr. 2 in Abbildung 113) mit der Maßgrößenmenge (Kostentreiber) für die betrachtete Periode resultieren die Netto-Kapazitäten der Teilprozesse. Die Summe der Nettokapazität aller Teilprozesse ergibt die genutzte Kapazität einer Kostenstelle. Die ungenutzte Kapazität ermittelt sich aus der Differenz zwischen Kostenstellenkapazität und genutzter Kapazität.

Der Kostenstellen-Stundenkostensatz (Nr. 3) wird durch die Division der Kostenstellenkosten (Nr. 1) und der Nettokapazität ermittelt. Die Kostenstellenkosten umfassen dabei die gesamten in der Betrachtungsperiode angefallenen Kostenstellenkosten. Die Teilprozesskosten ergeben sich somit aus der Multiplikation der Teilprozesskapazitäten mit dem Stundenkostensatz der Kostenstelle. Die Kosten der ungenutzten Kapazitäten (Leerkosten) ergeben sich analog.

Zur Modellierung von Zeitverbrauchsfunktionen werden die ermittelten Soll- und varianteninduzierten Zeiten je Prozess näher analysiert. Ziel ist das Ermitteln von klar identifizierbaren bzw. abgrenzbaren Einflussfaktoren auf die Sollzeit. Dies kann im Bereich bspw. die Art der Verpackung sein oder in der Disposition die Art der Bestellung. Dabei können auch mehrere Einflussfaktoren je Prozess ermittelt werden, so dass man letztendlich eine Zeitverbrauchsfunktion erhält.

<sup>97</sup> Quelle: in Anlehnung an Coners/von der Hardt (2004)

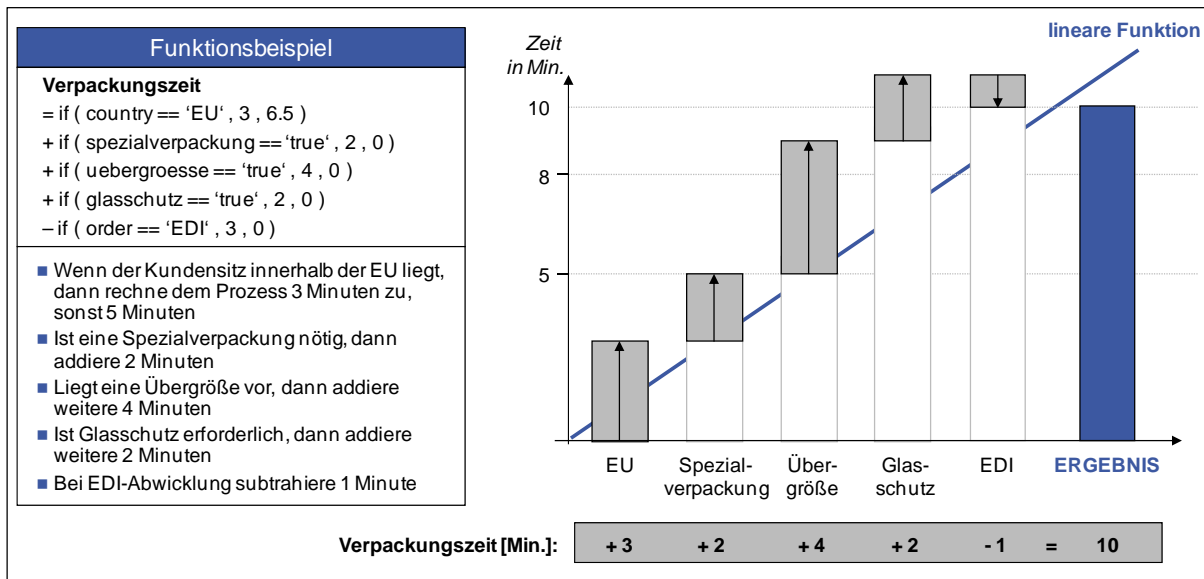


Abbildung 114: Beispiel einer Zeitverbrauchsfunction<sup>98</sup>

Wie in Abbildung 114 dargestellt, werden dabei nicht einfach lineare Kostenfunktionen in Abhängigkeit zunehmender Komplexität unterstellt, sondern es können Zeitverbräuche in Abhängigkeit bestimmter Einflussfaktoren modelliert werden.

Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass der manuelle Aufwand des Systems relativ gering ist. Es ist lediglich ein einmaliger Aufwand zur Erstellung und Befüllung des Prozessmodells erforderlich. Da der Zeitverbrauch auf Basis der Sollzeit ermittelt wird, werden Eingriffe in das Prozessmodell nur dann erforderlich, wenn sich die Soll-Zeit der Teilprozesse oder die Einflussfaktoren verändern. Dazu müssen lediglich die neuen Zeitwerte ermittelt sowie die Prozessmengen bestimmt werden.

#### 3.4.3.4.1 Tool-Unterstützung

Das Variantenkosten-Tool ist für die Unterstützung der im vorherigen Abschnitt erläuterten Vorgehensweise (Handlungsleitfaden) zur Variantenkostenbewertung konzipiert. Die entwickelte IT-Lösung basiert auf Microsoft Excel, um eine breite Einsatzmöglichkeit sicher zu stellen.

<sup>98</sup> Quelle: in Anlehnung an Coeners/von der Hardt (2004)



Das Tool umfasst die wesentlichen Funktionalitäten „Modellierung“ sowie „Eingabe und Bewertung“. Zur Unterstützung der Anwender gibt es eine Bedienungsanleitung sowie zusätzliche Informationen (siehe Abbildung 115).



Abbildung 115: Startseite des Tools

Das Tool ist für einen fortlaufenden Einsatz zur Bewertung von auftretenden Variantenentscheidungen ausgelegt. Dies erfordert eine Befüllung des Tools mit den benötigten, entscheidungsrelevanten Informationen und Daten. Dies ist ein einmaliger Vorgang, d.h. dieser Aufwand fällt einmalig beim ersten Einsatz des Tools an. Für weitere Variantenentscheidungen kann auf die modellierte Datenbasis zurückgegriffen werden. Nur wenn sich Änderungen in Teilprozessen, Prozesszeiten und / oder Kapazitäten ergeben, muss eine Anpassung des definierten Modells erfolgen.

Im Folgenden werden zunächst die Modellierungsschritte sowie die Analyse (Eingabe und Auswertung) mit Hilfe des Tools kurz beschrieben.

Die Modellierung als einmalige Tätigkeit umfasst das Definieren von

- Kostenstellen
- Ressourcen (Personal) und
- Prozessen

Im ersten Schritt erfolgt die Modellierung der Kostenstellen. Dabei können die für Variantenentscheidungen relevanten Kostenstellen mit Name, Kürzel und zugehörigem Funktionsbereich eingegeben werden (siehe Abbildung 116).

**Kostenstellen**  
Bitte geben Sie hier Ihre Kostenstellen ein

	Kürzel	Funktionsbereich	Kostenstellen-Kostensatz
Produktkonstruktion	3AA	Konstruktio	
Betriebsmittelkonstruktion	3AB	Konstruktio	
Betriebsmittelbau	MA1	Montage	
Einkauf	4EA	Materialwirtschaft	
Lagerwesen	4ET	Materialwirtschaft	
Innerbetrieblicher Transport	4EF	Materialwirtschaft	
Disposition	4EG	Materialwirtschaft	
Warenausgang	4EL	Materialwirtschaft	
Zuschnitt	F0A	Fertigung	

Abbildung 116: Modellierung der Kostenstellen

Die Modellierung der (Personal-)Ressourcen (Abbildung 117) erfolgt wie im vorherigen Abschnitt beschrieben über die Ermittlung der Kapazitäten.

Zur einfachen Navigation kann der Funktionsbereich (1) ausgewählt werden, woraufhin die zugeordneten Kostenstellen angezeigt werden (2). Diese können nun einzeln nacheinander modelliert werden (3). Nach dem Eintragen der benötigten Angaben werden Brutto- und Nettoarbeitszeit automatisch berechnet. Im letzten Schritt (4) müssen zur Berechnung des Kostenstellensatzes die Primärkosten und die gesamten Kostenstellenkosten inklusive Umlagen auf diese Kostenstelle angegeben werden und festgelegt werden welche Größe als Basis zur Berechnung gilt. Der Kostenstellensatz wird automatisch berechnet.

**Ermittlung der Personalressourcen (Kapazitäten)**

**1 Auswahl Funktionsbereich**  
 Konstruktion

**2 Kostenstellen**

<input type="radio"/>	Konstruktionszentrum Elektronik
<input type="radio"/>	Konstruktionszentrum Fahrzeuge
<input type="radio"/>	Betriebsmittelkonstruktion

**3 Datenerfassung Kostenstelle**  
**Konstruktionszentrum Elektronik**

Anzahl MA	4
Arbeitszeit pro MA/Tag	8 h
Arbeitstage pro Jahr	210 Tage
<b>Brutto Arbeitszeit</b>	<b>6720 h</b>
Produktivitäts Faktor	16%
<b>Netto Arbeitszeit</b>	<b>5645 h</b>

**4**

<input checked="" type="checkbox"/> Primärkosten	<input checked="" type="checkbox"/> Gesamtkosten Kostenstelle	Kapazität (Netto)	Stundensatz
195.000,00 €	250.000,00 €	5644,8 h	44 €/h

Abbildung 117: Modellierung der Personalressourcen

Der berechnete Kostenstellenkostensatz wird in die Kostenstellenübersicht übernommen. In dieser Ansicht erhält man auch einen Gesamtüberblick über die bereits modellierten Kostenstellen und die dafür zu Grunde gelegten Kostendaten.

**Kostenstellen**

Kürzel	Funktionsbereich	Kostenstellen-Kostensatz	Anzahl Mitarbeiter	Arbeitszeit pro MA/Tag	Arbeitstage pro Jahr	Produktivitäts-Faktor	Bruttoarbeitszeit	Nettoarbeitszeit	Primärkosten	Kostenstellen-Gesamtkosten
3AA	Konstruktion	44,19	7,0	8,0	220	10%	12.320	11.088	490.000	580.000
3AB	Konstruktion	34,76	1,0	8,0	220	15%	1.760	1.496	52.000	65.000
MAI	Montage	17,93	1,5	8,0	220	15%	2.640	2.244	40.000	42.000
4EA	Materialwirtschaft	31,57	6,0	8,0	220	10%	10.560	9.504	300.000	350.000

Abbildung 118: Gesamtübersicht modellierter Kostenstellen (Ausschnitt)

Im dritten Schritt erfolgt die Definition der Teilprozesse, bzw. des Prozessmodells (siehe Abbildung 120). Zur Vereinfachung wurden auf Basis der Ergebnisse aus dem Projekt BAU-MO 2008 bereits Hauptprozesse vordefiniert, die für die Branche des Maschinenbaus typisch sind. Abbildung 119 zeigt dies beispielhaft für den Bereich Materialwirtschaft.

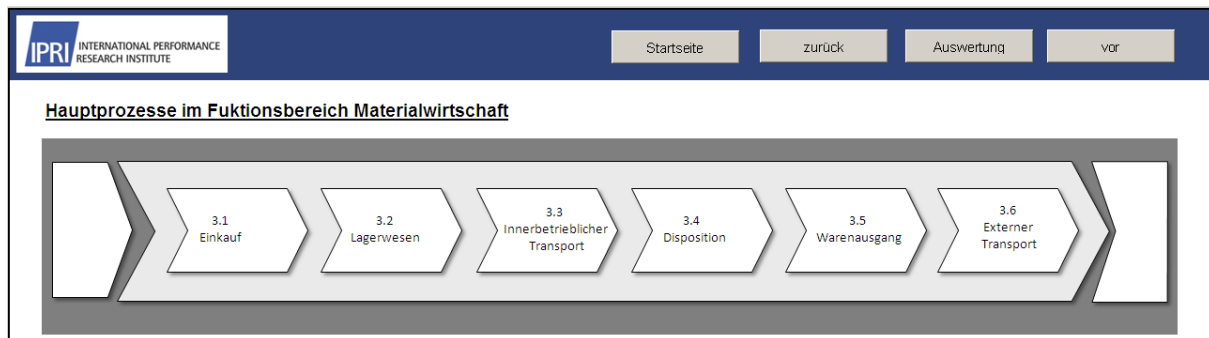


Abbildung 119: Hauptprozesse im Bereich Materialwirtschaft

Diesen Hauptprozessen können nun individuelle Teilprozesse zugeordnet werden (siehe Abbildung 120, Nr.1). Den erfassten Teilprozessen wird zugewiesen, ob es sich im Rahmen von Variantenentscheidungen um laufende oder einmalige Kosten handelt (2). Danach erfolgt die Verknüpfung mit den Kostenstellen (3). In den Erläuterungen (4) können die genaue Beschreibung sowie Details und Anmerkungen zu diesem Teilprozess dokumentiert werden. Im letzten Teil (5) erfolgt die Modellierung der Zeitverbrauchsfunction. Hier können zur Vermeidung eines zu hohen Komplexitätsgrades maximal 9 Varianten je Teilprozess dargestellt werden, bspw. mit drei Einflussfaktoren mit je drei Ausprägungen. Ausgehend von der Grundvariante des Prozesses werden Zeiten addiert oder subtrahiert, so dass in der Spalte ganz rechts eine Gesamtzeit als Summe resultiert.

**Definition von Teilprozessen**

1 Funktionsbereich: Materialwirtschaft

1 Hauptprozess: 3.1 Einkauf

2 Teilprozessdefinition: Lfd.Nr. Bestellung Durchführen (Standard) 3.1.1

3 Zuordnung Kostenstelle: 4EA

4 Erläuterungen:
 

- Prozess: Teile bestellen
- Berechnung: Prozesskostensatz aus den Primärkosten Einkauf / Zeit
- Aufwandsfaktor: Definiert durch die Art der Anlieferung und die Häufigkeit der Bestellung
- Ergänzungen:

5 Varianten des Teilprozesses

Merkmale Ausprägungen	Basis	Systemunterstützung			Lieferant			Summe
		manuell	teil-	automatisiert	lieferant	Lieferant	POV	
Variante 1	0,25							0,25
Variante 2	0,25		-0,1					0,15
Variante 3	0,25			-0,25				0
Variante 4	0,25					0,25		0,5
Variante 5	0,25						0,5	0,75
Variante 6	0,25		-0,05				0,25	0,45
Anzahl	35.000	10.000	15.000	10.000	9.000	800	1.700	

Abbildung 120: Modellierung von Teilprozessen

Mit diesem Schritt ist die Modellierung der Ressourcen und Prozesse abgeschlossen.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise beschrieben, wie mit Hilfe des Tools Variantenbewertungen durchgeführt werden können.

Dabei wird toolseitig zwischen sich ändernden laufenden Kosten (Prozesskosten) und Einmalaufwänden bzw. -einsparungen unterschieden (siehe Prozessdefinition).

Auf der Einstiegsseite (siehe Abbildung 115) kann über den dargestellten Auftragabwicklungsprozess zunächst ein Funktionsbereich, indem durch eine Variantenentscheidung Veränderungen auftreten, per Maus-Klick ausgewählt werden. Im nächsten Menü (siehe Abbildung 121) ist eine Übersicht der in diesem Funktionsbereich ablaufenden Hauptprozesse dargestellt (1). Diese sind, wie bereits beschrieben, im Tool vordefiniert, können aber manuell in der Modellierungsfunktion angepasst werden.

The screenshot shows a software interface for 'Materialwirtschaft' (Material Management). At the top, there is a navigation bar with buttons for 'Startseite', 'zurück', 'Auswertung', and 'vor'. Below this, the main title 'Materialwirtschaft' is displayed. A process flow diagram (1) shows six steps: 3.1 Einkauf, 3.2 Lagerwesen, 3.3 Innerbetrieblicher Transport, 3.4 Wareneingang, 3.5 Warenausgang, and 3.6 Externer Transport. A menu (2) for '3.1 Einkauf' includes options like 'Bestellung durchführen', 'Neues Teil bestellen', 'Termin verfolgen', and 'Vertragsänderung durchführen'. A sub-menu (3) for '3.1.1 Bestellung durchführen' is active, leading to a table (4) for cost evaluation.

	Prozessvariante		Kosten	
	Ist	Neu	Ist	Neu
Manuelle Bestellung (Variante 1)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	17,50 €	
Halb-Automatische Bestellung (Variante 2)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>		10,50 €
Automatische Bestellung (Variante 3)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Manuelle Bestellung neuer Lieferant (Variante 4)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Manuelle Bestellung neuer Lieferant RDW (Variante 5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Automatische Bestellung neuer Lieferant RDW (Variante 6)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		

Abbildung 121: Bewertung der laufenden Kosten

Durch einen Maus-Klick auf einen der Hauptprozesse bekommt man die diesem Hauptprozess zugeordneten Teilprozesse angezeigt (3). Auf dieser Ebene kann nun die Bewertung vorgenommen werden. Für jeden Teilprozess (4) kann die Ist-Ausprägung sowie die Ausprägung des Prozesses nach der aufgrund einer Variantenentscheidung eingetretenen Änderung angegeben werden. Dieser Vorgang wird für alle Teilprozesse, die von Veränderungen aufgrund der Variantenentscheidung betroffen sind, wiederholt. Bei Prozessen, die als Einmalaufwand definiert sind, ist der Vorgang analog durchzuführen. Wenn im Menü ein Hauptprozess gewählt wurde (1), dem Teilprozesse zugeordnet sind, die als Einmalaufwand definiert sind, ändert sich die Darstellung (siehe Abbildung 122). Es wird nicht ein Vergleich von Ist- und Neuzustand abgefragt. Vielmehr erfolgt eine Abfrage der definierten Prozessvarianten und der Zeiteinflussgrößen. Mit dem ermittelten Kostenstellensatz wird dieser Zeitaufwand multipliziert und ergibt den für die Variantenentscheidung zu berücksichtigenden Einmalaufwand.

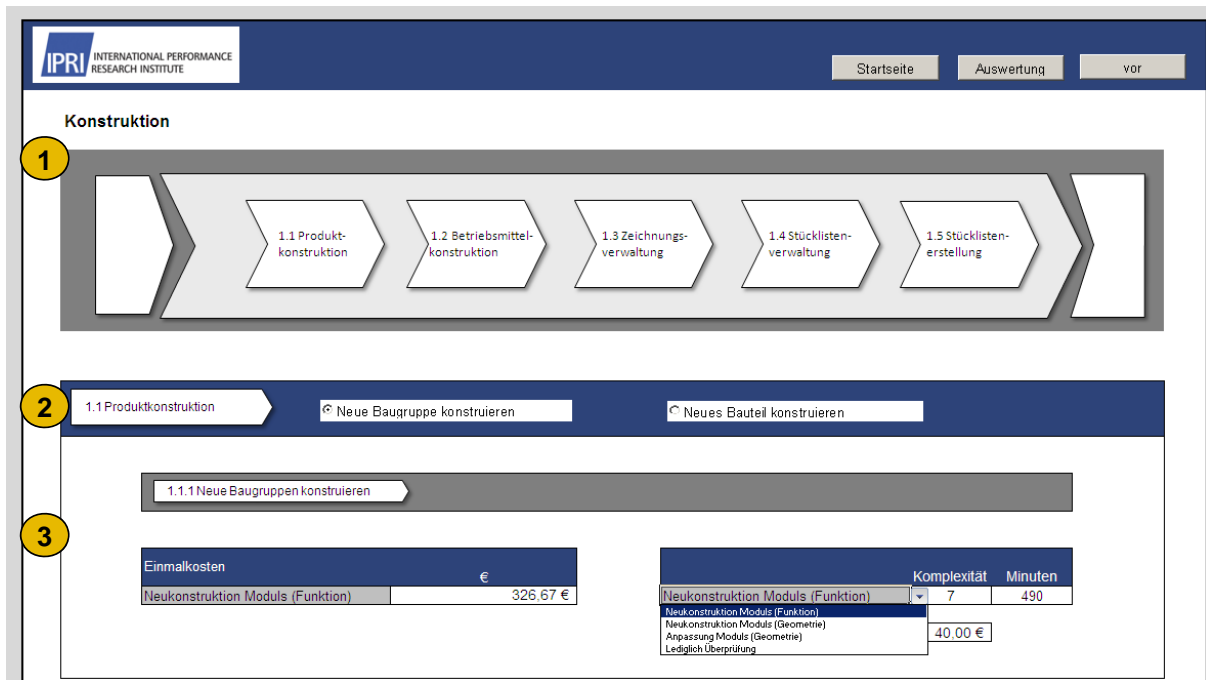


Abbildung 122: Bewertung des Einmalaufwands

Nach diesem Schritt ist die Bewertung abgeschlossen. Im Folgenden wird die Möglichkeit zur grafischen Auswertung beschrieben.

Die Auswertung unterscheidet wie auch bei der Bewertung zwischen laufenden und einmaligen Kosten, sowie nach Kostenarten Personal, Material, etc.

Die Auswertung kann je Funktionsbereich, aber auch aggregiert für alle Funktionsbereiche erfolgen (siehe Abbildung 123).

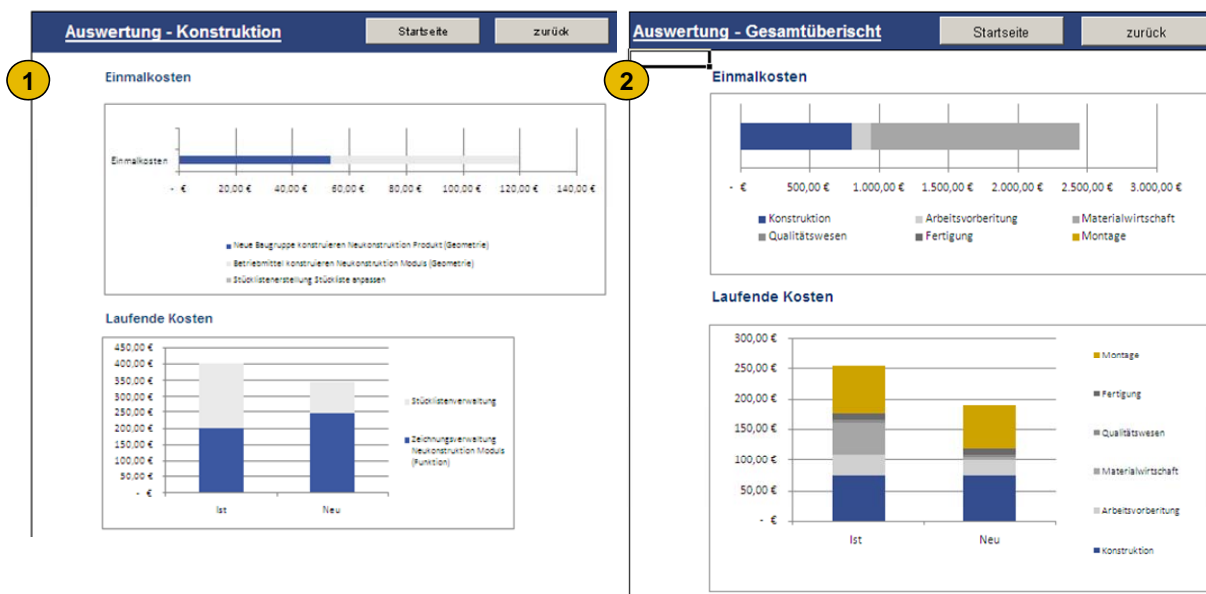


Abbildung 123: Auswertungsfunktion

Diese Übersichtsdarstellungen zeigen auf, welche Auswirkungen die Variantenentscheidung auf die Kosten hat – sowohl die Höhe der Kosten betreffend als auch die Bereiche, in denen sie auftreten.

Durch die Angabe der prognostizierten Stückzahl können die Stückkosten alt und Stückkosten neu dargestellt werden. Damit ist eine Entscheidungsgrundlage gegeben.

Der Nutzen des beschriebenen Variantenbewertungskonzepts liegt nicht in der Toolunterstützung alleine, sondern vielmehr in der Kombination einer Etablierung eines definierten Entscheidungs-Prozesses in der Organisation, der durch ein objektives und nachvollziehbares IT-Werkzeug unterstützt wird (siehe Abbildung 124).

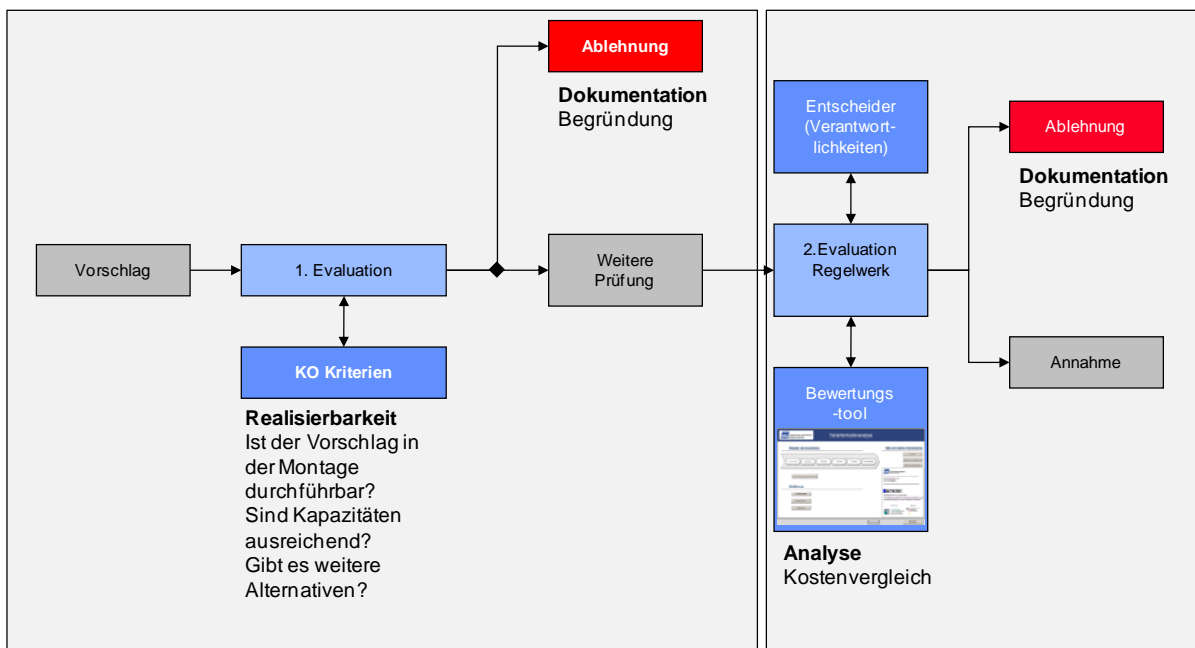


Abbildung 124: Definierter Prozess der Variantenbewertung

Durch den definierten Prozess werden alle von einer Variantenentscheidung betroffenen Stellen in die Entscheidung integriert, was die Akzeptanz bei den Betroffenen erhöht. Der Entscheidungsweg und die zu Grunde liegenden Methoden sind transparent und für alle nachvollziehbar. Auch dies steigert die Akzeptanz. Gleichzeitig kann die Effizienz solcher Entscheidungen erhöht werden, da es einen definierten Prozess und einen Verantwortlichen gibt.

Das entwickelte Tool basiert auf einem generischen Prozessmodell, das im Rahmen des Projekts BAU-MO 2008 entwickelt wurde und damit auf die Branche der Baumaschinenhersteller ausgerichtet ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Unterschiede zu Unternehmen aus angrenzenden Branchen nur minimal sind. Für die An-



wendung des Tools bedarf es daher in einem ersten Schritt immer einer Überprüfung bzw. Anpassung des zu Grunde liegenden Prozessmodells.

#### **3.4.4 Realisierte Beispielanwendungen bei der *Liebherr Mischtechnik GmbH***

Im Folgenden soll anhand eines Praxisbeispiels das Vorgehen bei Variantenbewertung exemplarisch dargestellt werden. Das beschriebene Beispiel wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens BAU-MO 2008 beim Projektpartner *Liebherr Mischtechnik GmbH (LMT)* durchgerechnet. Die im folgenden genannten Mengen, Zeiten und Kosten wurden anonymisiert, wobei die Relationen konstant gehalten wurden. Konkrete Unternehmenszahlen werden hierbei aus Datenschutzgründen nicht angegeben.

Ausgangssituation:

Die *Liebherr Mischtechnik GmbH* bezieht das Bauteil „Einlauftrichter“ derzeit von einem Lieferanten in einer Grundvariante. Von allen möglichen Varianten für den Verbau werden derzeit aktiv 30% verbaut. Diese Variantenbildung erfolgt intern durch verschiedene Fertigungs- und Montageschritte. Die Variantenbildung für die Variante „Einlauftrichter mit Abdeckung“ erfolgt dabei erst direkt am Montageband durch die Montagearbeiter selbst. Dieser Schritt umfasst das Vorbereiten des Bohrens sowie das Bohren von Löchern für die Halterung des Deckels. Der Deckel selbst wird erst im Finish nach der Lackierung angebracht.

Dieser Montageschritt könnte durch den Einkauf einer zusätzlichen Variante eingespart werden. In diesem Falle würde *LMT* von dem bisherigen Lieferanten mit zwei Varianten beliefert - eine Variante wie bisher ohne Löcher sowie eine bereits gebohrte Variante. Dadurch könnte der oben beschriebene Schritt in der Montage entfallen. Die neue Variante hat einen höheren Einkaufspreis als die bestehende.

Auf der Basis der bisherigen Vergleichsrechnung ergibt sich ein klarer Vorteil. Die Mehrkosten im Einkauf betragen 15 Prozent pro Stück, bezogen auf das jährliche Einkaufsvolumen dieses Bauteils ergibt sich eine Erhöhung um 5 Prozent. Diesen Mehrkosten stehen Einsparungen durch den entfallenen Montageschritt entgegen. Die Einsparungen resultieren aus der eingesparten Montagezeit von 25 Minuten. Multipliziert mit dem Kostensatz und der jährlichen Verbaumenge ergibt sich ein Einsparpotenzial von 0,5 Prozent des bisherigen Einkaufsvolumens dieses Bauteils.

Zur Unterstützung bei dieser Entscheidung wurde auf die Methode der Variantenkostenanalyse zurückgegriffen. Das Ergebnis der Analyse ist in Abbildung 125 dargestellt.

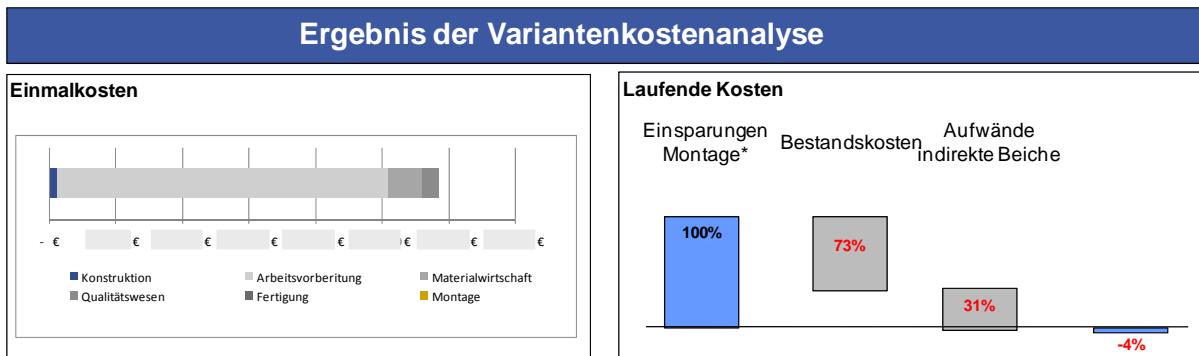


Abbildung 125: Ergebnis der Variantenkostenanalyse

Die durchgeführte Analyse zeigte auf, dass zum einen Einmalkosten entstehen und zum anderen sich die laufenden Kosten durch erhöhte Bestände und zusätzlich Aufwendungen v.a. in der Disposition erhöhen. Die Einmalkosten sind auf das Aktualisieren der Dispositionsdaten und der Teiledatenbank, den Umbau des Arbeitsplatzes sowie Änderung der Arbeitspläne zurückzuführen. Die zusätzlichen Bestandskosten sind darauf zurückzuführen, dass die Variante als eigenständiges Einkaufsteil geführt wird. Damit wird automatisch ein eigener Mindest- und Sicherheitsbestand eingeplant und aufgebaut. Die Aufwände in den indirekten Bereichen resultieren aus einem erhöhten Handlingsaufwand im Wareneingang durch eine erhöhte Anzahl von Anlieferungen, zusätzliche Prüfaufwände in der Qualitätssicherung, Pflegekosten einer zusätzlichen Artikelnummer, Mehraufwände in der Logistik als auch der Disposition. Nicht in die Berechnung mit ein fließen Koordinationsaufwände, die im Rahmen von zusätzlichen Abstimmungen sowohl mit Lieferanten als auch firmenintern entstehen. Diese werden jedoch als Risiko erfasst und dokumentiert und fließen in die endgültige Entscheidung mit ein.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass mittels der Variantenbewertungsmethodik ein Ansatz geliefert wird, abteilungsübergreifende Bewertungsproblematiken objektiv zu lösen. Durch die klare Definition von zu verwendenden Kostensätzen durch das Controlling werden widersprüchliche Analysen vermieden und ein effizienter Bewertungsprozess sichergestellt. Das Ergebnis der Bewertung stellt eine Basis dar, die in die Entscheidung miteinbezogen wird. Damit wird der Informationsstand aller an der Entscheidung Beteiligten erhöht und dient somit einer Erhöhung der Qualität von variantenbezogenen Entscheidungen.

## 4 Fazit und Ausblick

### 4.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts BAU-MO 2008 wurde in gemeinsamer Forschung und Entwicklung von den Forschungsinstituten und Partnerunternehmen eine Vielzahl an Lösungen für spezifische Probleme der Unternehmen der Baumaschinenindustrie entwickelt und in die Praxis umgesetzt. Abbildung 126 stellt diese in einer Übersicht nochmals dar.

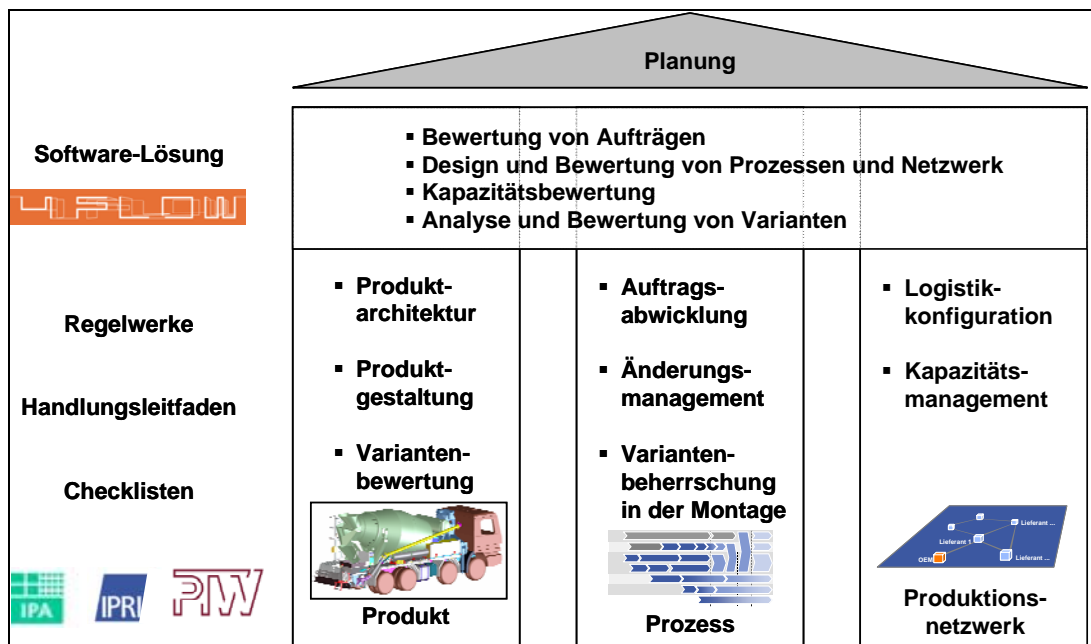


Abbildung 126: Übersicht über BAU-MO 2008 Projektergebnisse

Ziel war es, den Unternehmen Instrumente und Methoden zur Verfügung zu stellen, damit sie die Komplexität von Produkten und Prozessen beherrschen und damit eine effiziente und effektive Planung sowie Betrieb von Wertschöpfungsnetzwerken ermöglicht wird.

Zur Beherrschung der Produktkomplexität wurde ein Regelwerk entwickelt, das es den Unternehmen ermöglicht, Bauteile und Baugruppen unter Modularisierungsaspekten optimal zu gestalten. Dieses Regelwerk kann sowohl im Vorfeld von Neuentwicklungen als auch bei Anpassungskonstruktionen eingesetzt werden. Das datenbankgestützte Regelwerk umfasst über 800 Regeln, klassifiziert nach unterschiedlichen Themenbereichen und kann laufend um weitere Regeln ergänzt. Es basiert auf einer umfassenden Erweiterung des Konzepts „Modular Function Deployment“ (MFD), die es ermöglicht, Einflussfaktoren von Technik, Kunde und Netz-

werk zu berücksichtigen und eine damit eine optimale Modularisierung (Anzahl, Umfang einzelner Module und Schnittstellen) komplexer Produkte zu erreichen.

Zur Beherrschung des gesamten Auftragsabwicklungsprozesses - vom Auftragseingang bis zur Auslieferung - wurden Lösungen sowohl für die indirekten Bereiche (Konfiguration und Konstruktion) als auch die direkten Bereiche (Montage) entwickelt. Für die indirekten Bereiche wurde eine Methodik entwickelt, die eine Rückwärtsterminierung auch in diesen Bereiche erlaubt. Dabei werden in Abhängigkeit von Prozess- und Produktmerkmalen definierten Baugruppenklassen die erforderlichen Prozesse zum jeweils frühestmöglichen Zeitpunkt angestoßen. Damit werden Reibungs- und Informationsverluste zwischen Funktionsbereichen vermieden und die Effizienz gesteigert.

Für die Montageplanung wurde eine Methodik entwickelt, die den Fokus auf die Beherrschung einer hohen Variantenvielfalt legt. Durch die einfache Anwendbarkeit des Werkzeugs und die datentechnische Integration von Analyse und Gestaltung ermöglicht es identifizierte Optimierungspotenziale voll zu erschließen.

Zur optimierten Gestaltung der Liefernetzwerke wurde ein branchenspezifisches, einfach umzusetzendes Lieferantenaudit erarbeitet. Ergänzend dazu wurde ein Simulationswerkzeug entwickelt, das in der Lage ist, komplexe Wirkbeziehungen in Zulieferbeziehungen in Hinblick auf die Erreichung logistischer Ziele zu bewerten. Dies ermöglicht bspw. die Bewertung von Versorgungsrisiken.

Ein zentrales Ergebnis stellt der Softwareprototyp zur Produkt- und Netzwerkkonfiguration dar, der eine integrierte Bewertung von Produkt, Prozessen und Netzwerk ermöglicht. Damit können unternehmerische Entscheidungen fundiert getroffen werden und die Entscheidungsgrundlagen sind rekonstruierbar. Darüber hinaus ist es möglich, Prozesse und das logistische Netzwerk detailliert auf Schwachstellen hin zu analysieren und schnelle Einschätzung von Kundenaufträgen vorzunehmen.

Neben der integrierten Bewertung auf Produktebene wurde auch ein Instrument zur Bewertung von Varianten auf Baugruppen und Bauteilebene entwickelt. Damit erhalten Unternehmen Unterstützung bei der Beherrschung und Reduzierung der internen Varianz.

Alle dargestellten Ergebnisse liegen am Ende des Projekts in Form von Leitfäden und Softwareprototypen vor.

## 4.2 Fazit

Durch die Validierung und Umsetzung der Lösungen bei den Partnerunternehmen, konnten für die beteiligten Unternehmen Verbesserungen in vielen Bereichen erzielt werden. Folgende Tabelle stellt eine Auswahl dar.

*Tabelle 6: Ausgewählte Maßnahmen und Nutzen für Unternehmen*

<b>Ausgewählte Maßnahmen zur Beherrschung von Komplexität in Produkt und Prozess</b>	<b>Ausgewählte Ergebnisse bei den Unternehmen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einführung von Fließmontagen</li> <li>- Konstruktive Neugestaltung eines Produkts unter Anwendung entwickelter Konstruktionsregeln</li> <li>- Konzeption einer Variantenkostenbewertung</li> <li>- Etablierung eines Lieferantaudits im Liefernetzwerk</li> <li>- Integration von Produkt- und Netzwerkkonfiguration in einer Softwarelösung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzierung der Durchlaufzeit der Montage</li> <li>- Reduzierung der Durchlaufzeit von Aufträgen in den indirekten Bereichen</li> <li>- Reduzierung der Fehlerhäufigkeit in der Auftragsabwicklung durch Automatisierung</li> <li>- Gesteigerte Effizienz der Auftragsabwicklung</li> <li>- Erhöhung der Liefertreue bei ausländischen Kernlieferanten</li> <li>- Verbesserung der Planung des Liefernetzwerks</li> </ul>

Da die Projektergebnisse nicht nur unternehmensspezifisch, sondern mit Blick für die gesamte Baumaschinenbranche erarbeitet wurden, können diese Potenziale auch bei anderen Unternehmen dieser Branche realisiert werden. Durch den begleitenden Industriearbeitskreis (IAK) wurden die Themen und Ergebnisse in die Branche weitergegeben. Damit trägt die Verbundforschung einen wichtigen Teil zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Baumaschinenindustrie bei.

### **4.3 Ausblick auf Themen in der Anschlussforschung**

Aus dem Verbundprojekte BAU-MO 2008 haben sich Methoden, Lösungen und Werkzeuge mit wissenschaftlichem und praktischem Nutzen ergeben. Des Weiteren konnten einige Fragestellungen im Verlauf des Projekts identifiziert werden, die außerhalb des Projektfokus liegen oder die aus Zeit- und Kapazitätsgründen nicht im Detail bearbeitet werden konnten. Aus diesen Fragestellungen können sind im Anschluss an den Projektabschluss Ansätze für weiterführende oder ergänzende Forschungsprojekte formuliert werden. Im Folgenden sind einige wissenschaftlich anspruchsvolle und wirtschaftlich aussichtsreiche Forschungsansätze angeführt.

#### **4.3.1 Feature-basierte Kostenbewertung im Netzwerk**

##### **4.3.1.1 Ausgangssituation und Problemstellung**

Heute müssen die logistischen Kosten im Netzwerk für jedes Bauteil und für jede Variante getrennt erfasst und ggf. neu bestimmt werden. Die Bestimmung der Kosten erfolgt in weiten Teilen manuell, weil keine automatisierte Erfassung über Unternehmensgrenzen hinweg möglich ist und die Unterschiede zwischen Bauteilen bzw. Varianten nicht automatisch erfasst werden können. Bereits erfasste Daten werden bei der Bewertung von Bauteilen und Varianten im Netzwerk nicht weiterverwendet, sondern erneut erhoben.

##### **4.3.1.2 Forschungsansatz**

Der Ansatz sieht vor, die Logistikkosten von Bauteilen und Varianten im Netzwerk anhand konstruktiver Eigenschaften (Features) zu bestimmen, die ihren Ursprung in der parametrisierten Konstruktion haben. Dort werden Features bspw. bei der Erzeugung neuer Varianten entsprechend neuer Anforderungen angepasst, ohne dass neu konstruiert werden muss. So werden absolute Kosten für den Standard definiert und Funktionen gebildet, die die Anpassung der Kosten in Abhängigkeit von Featuresausprägungen darstellen. Den Bauteilen und Varianten werden so Kosten im Netzwerk zugeordnet, anhand derer sie bewertet werden können.

##### **4.3.1.3 Nutzen für Unternehmen**

In der Bewertung von Bauteilen und Varianten können Arbeitsschritte eingespart werden und Mehrfachaufwand im Netzwerk kann vermieden werden. Dadurch wer-

den Kosten gespart und die Prozesse beschleunigt. Erhebliches Optimierungspotenzial kann durch Automatisierung und den Einsatz entsprechender Software realisiert werden.

### **4.3.2 Getaktete Standplatzmontage im Großmaschinenbau**

#### **4.3.2.1 Ausgangssituation und Problemstellung**

Der Trend im deutschen Maschinenbau entwickelt sich momentan in Richtung flussorientierter Fertigung. Viele Werkzeugmaschinenhersteller haben ihre Produktion oder Teilbereich der Produktion von einer Standplatzmontage zu einer Fließmontage bzw. One-Piece-Flow-Montage umgewandelt. Die Bedeutung dieses Trends zeigt sich auch in der angewandten Forschung.

Einige Unternehmen stehen jedoch nicht vor der Wahl, auf eine Fließmontage umzustellen, da ihre Produkte beispielsweise auf festen Fundamenten montiert oder vermessen und ausgerichtet werden müssen. Für diese Unternehmen stellt sich die Frage, ob es möglich ist, geeignete Methoden, die in der Fließmontage Vorteile verschaffen, auf das Prinzip der Standplatzmontage anzuwenden oder anzupassen.

In Wissenschaft und Forschung lassen sich zu diesem Themengebiet noch keine Ansätze oder abgeschlossene Arbeiten finden.

#### **4.3.2.2 Forschungsansatz**

Neben dem Trend zur flussorientierten Montage und Produktion besteht ein Trend zur Etablierung formalisierter Produktionssysteme in den Unternehmen. Seit den Anfängen in Form des *Toyota Produktionssystems* Ende der 80er Jahre haben immer mehr Unternehmen ein eigenes Produktionssystem nach dem Vorbild aus Japan erschaffen. Durchweg lässt sich eine konsequente Ausrichtung auf eine effiziente Produktion, Vermeidung von Verschwendung sowie Integration der Mitarbeiter und Lieferanten in den Gesamtprozess erkennen.

Die Produktionssysteme dienen dazu, die Prozesse des Unternehmens in Ablaufbeschreibungen zu dokumentieren und standardisieren. Ziel ist es, anschließend alle Schritte in einem System ganzheitlich zu betrachten und aufeinander abzustimmen.

Diese Synchronisation aller Vorgänge kann auch bei dem Prinzip der Standplatzmontage angewandt werden.<sup>99</sup>

Bei der Planung, Umsetzung und dem Betrieb der Produktionssysteme kommen die üblichen Methoden aus dem *Toyota Produktionssystem* zum Einsatz.

Es hat sich bei vielen Firmen gezeigt, dass für den Unternehmenserfolg unter anderem die Fließfertigung erforderlich ist. Die größten Nachteile bringt die Standplatzmontage durch die aufwendige Teileversorgung und Logistik. In diesem Bereich gibt es vergleichsweise wenige Ansätze und Bemühungen um die komplizierte Logistik möglichst beherrschbar zu gestalten.

Ein denkbarer Ansatz besteht in der Entwicklung einer adaptiven Montagelogistik. Diese beschreibt ein Konzept, in dem sich Informations- und Materialfluss flexibel an den Fortschritt im Montageprozess anpasst. Dies würde eine transparente und besser synchronisierte Abstimmung zwischen Montage- und Logistikmitarbeitern ermöglichen. Grundvoraussetzung für solche Ansätze ist eine ereignisgesteuerte Prozessführung. Die Prozesse in Montage und Logistik werden ausgelöst, indem ein Mitarbeiter gezielt beim Eintreten definierter Ereignisse die entsprechenden vorher festgelegten Prozesse anstößt. Eine beherrschbare Logik ist noch nicht wissenschaftlich entwickelt worden.

Ein weiterer Ansatz ist es, die vorherrschenden Unsicherheiten hinsichtlich Dynamik der Umwelt oder Form von Störungen während des Montageprozesses zu kompensieren, indem eine definierte Entkopplung der einzelnen Produktionsbereiche erfolgt. Bei der Standplatzmontage wird dies meist durch das Vorhalten von Materialbeständen oder mit der Einplanung von Pufferzeiten realisiert. Gegen diese Mechanismen spricht jedoch die zentrale Forderung nach kurzen Durchlaufzeiten und niedrigen Bestandskosten. Im Ansatz wird versucht, die nötige Entkopplung durch die Ausnutzung der Freiheitsgrade in den Montageabläufen zu erreichen.<sup>100</sup> Diese Freiheitsgrade äußern sich in Möglichkeiten zur Reihenfolgevertauschung von Arbeitsgängen, zum Parallelisieren der Abarbeitung von Arbeitsinhalten sowie einer flexiblen Zuordnung der Ressourcen Montageplatz, Personal und Material zu einzelnen Montageaufträgen. Um die Flexibilität in den Montageabläufen möglichst effektiv nutzen zu

---

<sup>99</sup> WB Werkstatt und Betrieb, Heft 9 / 2004, S.16-22

<sup>100</sup> WT Werkstatttechnik, Heft 5 / 2008, S. 391-396



können fehlen jedoch die angepassten Lenkungsmechanismen, welche die Freiheitsgrade möglichst optimal steuern sollen.

#### **4.3.2.3 Nutzen für Unternehmen**

Der Ansatz versucht, die Potenziale der Fließmontage bei Beibehaltung der Standplatzmontage für Anwendungsfälle in denen die physische Umstellung der Montagestruktur auf Fließstrukturen (Fließ- und Reihenmontag) nicht möglich ist zu nutzen.

Besonders gilt es auf ein möglichst optimales Fertigungslayout und die Planung und Versorgung der Standplätze mit allen notwendigen Ressourcen zu achten. Werden dazu noch Elemente aus modernen Produktionssystemen (z.B. KVP, Vermeidung von Verschwendung, Standardisierung) gepaart, kann auch eine Standplatzmontage wirtschaftlich sinnvoll aufgebaut sein.

### **4.3.3 Echtzeitfähige Prozesskontrolle durch den Einsatz von RFID-Technologie in der Maschinenmontage**

#### **4.3.3.1 Ausgangssituation und Problemstellung**

Die Bedeutung des RFID-Einsatzes in der Montage steigt in den letzten Jahren an. Im Bereich der Logistik bestehen schon unternehmensübergreifende RFID-Kreisläufe, um Wareneingang und –ausgang sowie die interne Logistik zu optimieren.

Als weitere Beweggründe für die Nutzung der RFID-Technologie geben Unternehmen Kundenanforderungen, eine bessere Kontrolle der Geschäftsprozesse sowie kürzere Durchlaufzeiten an.<sup>101</sup>

„Early Adopter“ von RFID in der Produktion und Montage konnten bereits die Herstellungsplanung und Prozesskontrolle durch Echtzeitinformationen verbessern.

---

<sup>101</sup> MM – Das Industrie Magazin, 28/2007, S. 24-37

### 4.3.3.2 Forschungsansatz

RFID findet derzeit vor allem bei variantenreicher, automatisierter Produktion Anwendung. Durch einen RFID-Chip, der im Werkstückträger integriert ist, werden während der gesamten Produktion alle Daten aktualisiert und stehen jederzeit zur Verfügung. Jeder Werkstückträger erhält so die spezifischen Daten darüber, welche Komponenten montiert werden soll. So ist es möglich, vor und nach jedem Montageschritt die Daten aus dem RFID-Chip abzufragen und es kann automatisch geprüft werden, ob die richtigen Bauteile verbaut wurden.

Durch die Informationen auf dem Chip sind während der Montage zu jedem Zeitpunkt alle benötigten Informationen abrufbar. Beispielsweise Werkstücktyp, Lage, Fertigungsstatus, kommender Bearbeitungsschritt sowie entsprechende Einstellparameter. Besonders bei Anlagen mit großer Variantenvielfalt oder Variantenmix ist dies sehr hilfreich um die Qualität zu gewährleisten. Die vollautomatische Identifizierung spart gleichzeitig Zeit, erhöht die Anlagenverfügbarkeit und die Wirtschaftlichkeit.<sup>102</sup>

Der RFID-Chip enthält am Ende der Montage neben den Informationen über die hergestellte Variante eine Art „elektronisches Qualitätszertifikat“ in dem alle Prüfungen während des Prozesses vermerkt sind. Die Informationen können dann ausgelesen und zusammen mit den Informationen über das gefertigte Produkt bei Bedarf entsprechend Archiviert werden.

Durch RFID ist eine werkstückbezogene Datenzuordnung ohne großen Aufwand möglich. Dies ist beispielsweise entscheidend für die sichere Zusammenführung von paarweise hergestellten Bauteilen (z.B. bei der Fertigung von Zylinder und Kolben, die genau auf die jeweiligen Toleranzen abgestimmt sind). Mit entsprechender Software lässt sich so neben der lückenlosen Prozessdokumentation zusätzlich Funktionen der Prozesssteuerung implementieren.<sup>103</sup>

### 4.3.3.3 Nutzen für Unternehmen

Zur Amortisierung im oben erwähnten Beispiel trugen vor allem zwei Punkte bei: die Kapazität konnte erhöht werden und die Auslastung der Anlage wurde verbessert.

---

<sup>102</sup> SPS Magazin, 6/2008, S. 49-51

<sup>103</sup> SPS Magazin, 10/2005, S. 60-61

Zudem ließ sich der IT-Einsatz an der Produktionsanlage reduzieren, da durch die verteilte Datenhaltung auf den RFID-Chips eine Datenbank zur Produktionssteuerung verzichtet werden. Am Anfang der Linie werden lediglich die fertigungsrelevanten Daten aus einem übergeordneten PPS-System bereitgestellt.

Gleichzeitig erhöht sich durch den Einsatz von RFID die Herstellungs- und Produktqualität, weil Informationen auf den Chips fortlaufend aktualisiert werden und fehlerhafte Module automatisch abgewiesen werden. Die RFID-Chips lassen sich zusätzlich durch Sensoren erweitern. So besteht die Möglichkeit wertvolle Echtzeitdaten über den aktuellen Zustand wie Temperatur oder Feuchtigkeit in der Umgebung zu erhalten und so Störungen im Produktionsprozess frühzeitig erkannt und behoben werden können.<sup>104</sup>

Durch die vollautomatische Identifizierung in einer Montagelinie sind alle erforderlichen Daten für die Bearbeitungsschritte immer verfügbar und werden schnell vom entsprechenden System erkannt und können verwertet werden. Hiermit ist immer eine eindeutige Erkennung möglich: Welches Werkstück kommt gerade, und welche Bearbeitung ist notwendig?<sup>105</sup>

Im Vergleich zu anderen Identifikationssystemen wie Barcode oder Datamatrixcode haben Schmutz oder Kratzer keinen Einfluss auf die Betriebsbereitschaft des RFID-Codes. Auch Temperaturschwankungen haben keine Auswirkung. Durch eine robuste Ausführung und die Möglichkeit die RFID-Tags mehrfach zu beschreiben, lassen sich solche Systeme über einen langen Zeitraum und sehr flexibel einsetzen. Bisher wurden aufwändige optische Methoden und Belichtungsszenarien angewandt. Eine induktive Identifikation eines Objektes ist um einiges zuverlässiger als die bisher eingesetzten Methoden.

---

<sup>104</sup> MM – Das Industrie Magazin, 28/2007, S. 24-37

<sup>105</sup> SPS Magazin, 6/2008, S. 49-51

## Literaturverzeichnis

- Ardissono, L.; Felfernig, A.; Friedrich, G.; Goy, A.; Jannach, D.; Schäfer, R.; Zanker, M. (2002):** Web-based Commerce of Complex Products and Services with Multiple Suppliers, in Sauer, J. (Hrsg., 2002): AI in planning, scheduling, configuration and design. Proceedings of the KI-2001 Workshop W1; zugleich 15. Workshop "Planen, Scheduling, Konfigurieren und Entwerfen", PuK 2001, Wien 18. 9. 2001.
- Bartuschat, M. (1994):** Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung, Vulkan-Verlag, Essen 1994.
- Baumgart, I. M. (2005):** Modularisierung von Produkten im Anlagenbau, Verlags-  
haus Mainz, Aachen 2005.
- Becker, J., Rosemann, R. (1993):** Design for Logistics - Ein Beispiel für die logistikgerechte Gestaltung des Computers, Integrated Manufacturing (CIM), Institut für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster 1993.
- Blecker, Th.; Abdelkafi, N.; Kreuter, G.; Friedrich, G. (2004):** Product Configuration Systems: State-of-the-Art, Conceptualization and Extensions, in: Hamadou; Gargouri; Jmaiel [Hrsg.]: Genie logiciel & intelligence artificielle. Eighth Maghreb-  
ian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence. Sousse/Tunesia: 9.-12. Mai 2004.
- Bliss, C. (1998):** Komplexitätsreduktion und Komplexitätsbeherrschung bei der Schmitz-Anhänger Fahrzeugbau-Gesellschaft mbH, in: Adam, D. (Hrsg., 1998): Komplexitätsmanagement, Schriften zur Unternehmensführung, S. 145-168, Wiesbaden 1998.
- Bongulielmi, L. (2002):** Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktentstehungsprozess, ETH Zürich, Zürich 2002.
- Boothroyd G., Dewhurst, P. (1988):** Product design for manufacture and assembly. In: Manufacturing Engineering, Heft 4, S. 42-46.
- Bruggemann, W., Moreels, K. (2003):** Time-Driven Activity-Based Costing – A New Paradigm in Cost Management, in: Horváth P. (Hrsg.): Performancesteigerung und Kostenoptimierung: Neue Wege und erfolgreiche Praxislösungen, S. 51-66, Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart 2003.

- Büttner, K. (1997):** Rechnerunterstütztes Konfigurieren von Baukastenprodukten, VDI-Verlag, Düsseldorf 1997.
- Caesar, C. (1991):** Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte, Variant Mode and Effects Analysis (VMEA), VDI-Verlag, Düsseldorf 1991.
- Calton, T. L. (1999):** Advancing Design-for-Assembly - The Next Generation in Assembly Planning, Intelligent Systems and Robotics Center, Sandia National Laboratories, Albuquerque 1999.
- Coners, A., von der Hardt, G. (2004):** Time-Driven Activity-Based Costing: Motivation und Anwendungsperspektiven. In: ZfCM, Heft 2, S.108-118
- Dietrich, A.J. (2007):** Informationssysteme für Mass Customization, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2007.
- Eberle, R. (2000):** Varianten-Controlling in der Automobil-Industrie, in: Kostenrechnungspraxis, Heft 6, S. 343-350.
- Egan, M. (1997):** Concept Design For Assembly – A Design Theory Perspective, Machine and Vehicle Design, Chalmers University of Technology, Göteborg 1997.
- Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann U. (2003):** Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren - Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2003.
- Ericsson, A., Erixon, G., (1999):** Controlling Design Variants: Modular Product Platforms, ASME Press, New York 1999.
- Eskilander, S. (2001):** Design For Automatic Assembly – A Method for Product Design: DFA2, Doctorial Thesis, Stockholm 2001.
- Eversheim, W. (1996):** Konventionelle Methoden und Hilfsmittel der Konstruktion, in: Eversheim, W., Schuh, G.: Betriebshütte – Produktion und Management, 7. Auflage, S. 7 - 44, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1996.
- Förster, M. (2003):** Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus, Technische Universität München, München 2003.
- Franke, H.-J. (1998):** Produkt-Variantenvielfalt – Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung, in: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Allgemeiner Maschinenbau, Anlagenbau, Fahrzeugtechnik, VDI-

Berichte 1434, Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, S. 1-14, VDI Verlag, Düsseldorf 1998.

**Franke, H.-J., Firchau, N. L. (2001):** Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen – Erfahrungen, Methoden und Instrumente zur erfolgreichen Beherrschung, in: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen – Erfahrungen, Methoden und Instrumente, VDI-Berichte 1645, Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, S. 1-10, VDI Verlag, Düsseldorf 2001.

**Franke, H.-J., Hesselbach, J., Huch, B., Fichau, N. L. (2002):** Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, München, Wien 2002.

**Gembrys, S.-N. (1998):** Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen, PTZ, Berlin 1998.

**Gerwin, D. (1982):** Do's and Don'ts of Computerized Manufacturing. In: Harvard Business Review, Heft 2, S. 107-116.

**Grasmann, M. (2000):** Produktkonfiguration auf Basis von Engineering Data Management-Systemen, Eine Methode zum Aufbau und zur Pflege der Wissensbasis von Konfigurationssystemen und deren Einsatz in Verkaufsprozessen, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn 2000.

**Gronau, N., Weber, E. (2001):** Produktkonfigurationssysteme, in: PPS Management Heft 6-4, S. 60-75

**Günter, A. (1995):** Auflösung von Konfigurationskonflikten mit wissensbasiertem Backtracing und Reparaturanweisungen, in: Günter, A. (Hrsg., 1995): Wissensbasiertes Konfigurieren -- Ergebnisse aus dem Projekt PROKON, Infix, Sankt Augustin 1995.

**Heina, J. (1999):** Variantenmanagement, TU Cottbus, Wiesbaden 1999.

**Helo, P.T. (2006):** Product configuration analysis with design structure matrix. In: Industrial Management & Data Systems, Heft 7, S. 997-1011.

**Horváth & Partners (Hrsg.) (2005):** Prozessmanagement umsetzen, Schäffer Poeschel Verlag, Stuttgart 2005.

**Horváth, P. (2006):** Controlling, 10. Auflage, Vahlen Verlag, München 2006.

**Huang, C., Kusiak, (1998):** Modularity in Design of Products and Systems A.IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol. 28.

- Hümmer, W. (2004):** Vertragsverhandlungen um konfigurierbare Produkte im elektronischen Handel. Universität Nürnberg 2004.
- Jeschke, A. (1997):** Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion, Vulkan-Verlag, Essen 1997.
- Ji, P., Lau, K. H. (1997):** Design for manufacturing: a dimensioning aspect, Department of Manufacturing Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong 1997.
- John, U. (2002):** Konfiguration und Rekonfiguration mittels Constraint-basierter Modellierung, Akad. Verl.-Ges Aka., Berlin 2002.
- Kaiser, A. (1995):** Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung, Universität St. Gallen, St. Gallen 1995.
- Kaplan, R., Cooper, R. (1998):** Cost & Effect. Using Integrated Cost Systemes to Drive Profitability and Performance, Mcgraw-Hill Professional Verlag, Boston 1998.
- Kaplan, R., Cooper, R. (1999):** Prozesskostenrechnung als Managementinstrument, Campus Verlag, Frankfurt 1999.
- Kim, G. J., Bekey, G. A., Goldberg, K. Y. (1992):** A Shape Metric for Design-for-Assembly, University of Southern California, Berkley 1992.
- Kohlhase, N. (1997):** Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen, Strategien, Methoden, Instrumente, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 275, VDI-Verlag, Düsseldorf 1997.
- Kohlhase, N. (1998):** Variantenreduzierung in der Praxis – ein Erfahrungsbericht aus der Einzel- und Kleinserienfertigung, in: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte, Allgemeiner Maschinenbau, Anlagenbau, Fahrzeugtechnik, VDI Berichte 1434, S. 53-68, VDI Verlag, Düsseldorf 1998.
- Kühn, C., (2001):** Vergleich unterschiedlicher Konfigurationsmethoden im Hinblick auf die Nutzbarkeit von Wissen über das Zustandsverhalten der Konfigurationsobjekte, in: Sauer, J. [Hrsg.]: AI in planning, scheduling, configuration and design. Proceedings of the KI-2001 Workshop W1; zugleich 15. Workshop "Planen, Scheduling, Konfigurieren und Entwerfen", PuK 2001, Wien 18. 9. 2001.

- Kuhn, S., Gross, W., Schwab, C. (2007):** Netzwerkübergreifende Variantenbewertung. In: Industrie Management, Heft 6, S.49-52.
- Kuo, T.C., Hong-Chao, Z. (1995):** Design for Manufacturability and Design for "X": Concepts, Applications, and Perspectives, Department of Industrial Engineering, Texas Tech University, Lubbock 1995.
- Ladeby, K.; Edwards, K.; Haug, A. (2007):** Typology of Product Configuration Systems, in: Blecker, Th.; Edwards, K.; Friedrich, G.; Hvam, L.; Salvador, F. (Hrsg., 2007): Innovative processes and products for mass customization. Gito, Berlin 2007.
- Li, J. (2003):** Die Beherrschung der Variantenvielfalt im Vertriebsprozess mit Hilfe des Variantenkonfigurators am Beispiel der Implementierung der SAP R/3 Variantenkonfiguration, Universität Mannheim, Mannheim 2003.
- Lingnau, V. (1994):** Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie, Technische Universität Berlin, Berlin 1994.
- Mark, M. V., Ishii, K. (1997):** Design for Variety: Development of Complexity Indices and Design Charts, in: ASME Design Engineering Technical Conference and Computers in Engineering Conference, Sacramento 1997.
- Martin, M. V., Ishii, K. (2000):** Design for Variety: a Methodology for Developing Product Platform Architectures, in: ASME Design Engineering Technical Conferences, Baltimore 2000.
- Menge, M. (2001):** Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte, Vulkan-Verlag, Essen 2001.
- O'Driscoll, M. (2001):** Design for manufacture, Boston Scientific Ireland Ltd., Ballybrit Business Park, Galway 2001.
- Pahl, G., Beitz W. (1996):** Engineering Design – A Systematic Approach, Springer-Verlag, Berlin 1996.
- Pahl, G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K. H. (2005):** Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2005
- Pawellek, G. (2002):** Auswirkungen der Produktentwicklung auf Produktion und Logistik. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Heft 7 und 8, S. 373–377.



- Pawellek, G., O'Shea M., Schramm A. (2007):** Neue Werkzeuge zur logistikgerechten Produktentwicklung in der Automobilindustrie. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Heft 6, S. 355 - 360.
- Pawellek, G.; O'Shea M., Schramm A. (2005):** Logistikgerechte Produktenwicklung. Konstruktion. In: Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe, Heft 3, S. 71–76.
- Pfohl, H. C. (1996):** Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin 1996.
- Piller, F. T, Waringer, D. (1999):** Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien, Modular Sourcing, Plattformkonzept und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements, Shaker Verlag, Aachen 1999.
- Pimpler, T. U., Eppinger, S. D. (1994):** Integration Analysis of Product Decompositions, ASME Design Theory and Methodology Conference, Minneapolis 1994.
- Rampersad, H. K. (1995):** The House Of DFA, Rotterdam School of Management, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam 1995.
- Rathnow, P. J. (1993):** Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt, Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen 1993.
- Richter, K., Ernst, R. (2002):** System Design for Flexibility, University of Paderborn, Paderborn 2002.
- Rommel, G., Brück, F., Diederichs, R. (1993):** Einfach Überlegen, Das Unternehmenskonzept, das die Schlanken schlank und die Schnellen schnell macht, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 1993.
- Schaller, U. (1980):** Ein Beitrag zur vorteilhaften Erzeugnisgliederung bei variantenreicher Serienfertigung im Maschinenbau, RWTH Aachen, Aachen 1980.
- Schmidt, H. (2002):** Beitrag zum Variantenmanagement und zur Prozessoptimierung im Wagenkastenbau von Schienenfahrzeugen, TU Berlin, Berlin 2002.
- Schuh, G. (1988):** Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten: Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten, VDI-Verlag, Düsseldorf 1998.
- Schuh, G. (2005):** Produktkomplexität managen, Strategien – Methoden – Tools, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München und Wien 2005.

**Sethi, A. K., Sethi, S. P. (1990):** Flexibility in Manufacturing: A Survey. In: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Heft 2, S. 289-328.

**Suk Suh, E., Yong Kim, I., de Weck, O., Chang, D. (2004):** Design for Flexibility: Performance and Economic Optimization of Product Platform Components, Massachusetts Institute of Technology and GM Research and Development, Cambridge, Warren 2004.

**Taglia, d. A., Campatelli, G. (2006):** Axiomatic Design & QFD: A Case Study of Reverse Engineering System for Cutting Tools, 4<sup>th</sup> International Conference on Axiomatic Design, Florence 2006.

### **VDI-Nachrichten**

Technik – Wirtschaft – Gesellschaft

Düsseldorf: Ausgabe 17 (Seiten 1 und 12), VDI-Verlag, 2007.

**VDMA (2008):** Fachverband Bau- und Baustoffmaschinen im VDMA, Pressemitteilung zur Umsatzprognose 2009 vom 08. August 2008

**Westkämper, E., Bartuschat, M. (1993):** Produktcontrolling - Kostenoptimale Variantenvielfalt. In: CIM-Management, 1993, Heft 4, S. 26-32.

**Wildemann, H. (1995):** Variantenmanagement: Leitfaden zur Komplexitätsbeherrschung, 3. Auflage, TCW Verlag, München 1993.

**Wüpping, J. (1998):** Ertragsorientiertes Management. In: ZWF, Heft 7 und 8, S. 360-364.

**Wüpping, J. (2001):** Produktkonfiguration – Der Weg zur kundenindividuellen Serienfertigung. In: wt-Werkstatttechnik Heft 3, S. 152 – 156.