TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Neue Montagekonzepte

- Realisierung von Produktordnungssystemen in der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei kleinen und mittleren Unternehmen

Projektträgerschaft

Mitgliedsvereinigung industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), vertreten durch den Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik e.V.

Projektdurchführung

Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Horst Wildemann

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre –

Unternehmensführung, Logistik und Produktion

Technische Universität München

Vorwort

Viele produzierende Unternehmen behaupten sich durch kundenindividuelle Produkte auf dem internationalen Markt. Der Markterfolg setzt jedoch erst ein, wenn die Produkte zu international wettbewerbsfähigen Kostenstrukturen hergestellt werden können. Aus diesem Grund erfordert die Planung der Kleinserienmontage komplexer Produkte eine Vorgehensweise, mit deren Hilfe wirtschaftliche Produkt- und Montagestrukturen identifiziert und realisiert werden können. Die Frage, welche Gestaltungsansätze und Methoden zur Gestaltung der Montage eingesetzt werden sollen, stellt insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen vor eine große Herausforderung.

Der Forschungsbericht befasst sich mit der methodischen Unterstützung zur Konfiguration der Kleinserienmontage komplexer Produkte. Auf Basis von Fallstudien, schriftlichen Befragungen und Gesprächen mit Experten werden Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess identifiziert und eine Vorgehensweise zur Gestaltung der Montage erarbeitet. In Abhängigkeit von Einflussgrößen werden Gestaltungsempfehlungen gegeben, die dazu beitragen, die relevanten Montagekennzahlen zu verbessern. Die Erfolgsbewertung erfolgt auf Basis von Kosten-, Zeit-, Flexibilitäts- und Qualitätskennzahlen. Die Ergebnisse wurden in einem parametrisierten IT-Tool zur Unterstützung der Unternehmen umgesetzt.

Anhand der Analyse von fünfzehn Fallstudien konnten spezifische Problemstellungen und Anforderungen der Montagekonfiguration analysiert und neben der Auswertung von Literatur zu Forschungshypothesen verdichtet werden. Die für die empirische Analyse des Begründungszusammenhangs und zum Test der Hypothesen benötigten Daten wurden durch die Befragung von 20 Experten und durch eine schriftliche Befragung von 72 Unternehmen unter Verwendung eines Fragebogens gewonnen.

Für die zielführenden Diskussionen, Beiträge und Anregungen bedanke ich mich bei allen Experten aus Theorie und Praxis. Besonders hervorheben möchte ich die Unternehmen, die aktiv am Forschungsvorhaben mitgewirkt haben und so in zahlreichen Gesprächen, unternehmensübergreifenden

Workshops, aber auch Einzelterminen für den Erfahrungsaustausch zur Verfügung standen. Mein Dank gilt den Unternehmen Agco GmbH, Marktoberdorf; Agfa-Gevaert HealthCare GmbH, Peißenberg; Bosch Rexroth AG, Witten; EADS Deutschland GmbH - Defense and Security, Ulm; Eissmann Automotive Deutschland GmbH, Bad Urach; FTI Systems Ltd., Gilching; Giesecke und Devrient GmbH, München; IWIS Antriebssysteme GmbH & Co. KG, München; Knorr-Bremse AG, München; Modine Wackersdorf GmbH, Wackersdorf; Möhlenhoff Wärmetechnik GmbH, Salzgitter; Océ Printing Systems GmbH, Poing; Rational AG, Landsberg am Lech; Rehau AG + Co., Rehau; Roding Automobile GmbH, Roding; Schleifring und Apparatebau GmbH, Fürstenfeldbruck; Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, Wedemark; Siemens AG, München; Siepmann-Werke GmbH & Co. KG, Warstein sowie Stryker Leibinger GmbH & Co. KG, Freiburg.

Bei meinen Mitarbeitern Frau Dipl.-Wirtsch.-Ing. Carola Steinbauer, Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dipl. Ing., MBA Adrian Markgraf und Herrn Dipl.-Ing. (FH), M.Sc., MBA Peter Rück bedanke ich mich recht herzlich für die Unterstützung bei der Forschungsarbeit und für die Erstellung des vorliegenden Berichts.

Das IGF-Vorhaben 15973 N der Forschungsvereinigung Umwelttechnik wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Für die Unterstützung der Forschungsarbeit und die sehr gute Zusammenarbeit bedanke ich mich vielmals.

München, den 01. Oktober 2010 Horst Wildemann

Der Autor

Horst Wildemann

Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult.

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre - Unternehmensführung, Logistik u. Produktion

Technische Universität München

Die Mitarbeiter

Adrian Markgraf

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dipl. Ing., MBA

Technische Universität München

Peter Rück

Dipl.-Ing. (FH), M.Sc., MBA

Technische Universität München

Carola Steinbauer

Dipl.-Wirtsch.-Ing.

Technische Universität München

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *2*

0 Zusammenfassung *7*

1 Einleitung *14*

1.1 Problemstellung **14**

1.2 Zielsetzung des Forschungsvorhabens **16**

1.3 Lösungsweg und methodisches Vorgehen **18**

1.4 Ergebnistransfer **23**

1.5 Charakterisierung der Forschungskonzeption **25**

2 Theoretischer Bezugsrahmen *30*

2.1 Kleinserienmontage komplexer Produkte in mittelständischen Unternehmen **30**

2.2 Montageplanung **41**

2.3 Montageorientierte Produktgestaltung **57**

2.3.1 Konzepte zur Montageobjektgestaltung 59

2.3.2 Methoden zur Montageobjektgestaltung 65

2.4 Montagegestaltung **69**

2.4.1 Konzepte zur Montagegestaltung 73

2.4.2 Methoden zur Montagegestaltung 81

2.5 Wirtschaftlichkeitsbewertung **86**

2.6 Zusammenfassung des theoretischen Bezugsrahmens **94**

3 Empirische Anforderungsanalysen zur Konfiguration der Kleinserienmontage bei KMU *95*

3.1 Empirische Basis **95**

3.1.1 Fallstudien 95

3.1.2 Expertengespräche und Unternehmensaudits 103

3.1.3 Befragung von Unternehmen mittels Fragebogen 105

3.2 Anforderungsanalyse **108**

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Anforderungsanalyse **131**

4 Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage 133

4.1 Modellstruktur zur Konfiguration der Kleinserienmontage 133

4.2 Parametrisierung des Modells 137

4.2.1 Einflussgrößen auf den Montagekonfigurationsprozess 137

4.2.2 Parametrisierung der Einflussgrößen 142

4.3 Ausgestaltung des Montagekonfigurationsprozesses 150

4.3.1 Flussdiagramme als konzeptionelle Grundlage 151

4.3.2 Ergebnisse je Phase des Montagekonfigurationsprozesses 154

4.3.3 Bewertungskonzept 161

4.3.4 Expertengespräche zur Überprüfung des Modells 165

4.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse zur Modellbildung 169

5 IT-Tool zur Konfiguration der Kleinserienmontage „Assembly Optimizer“ 170

5.1 Anwendungsmöglichkeit und Nutzen des IT-Tools 170

5.2 Aufbau des IT-Tools 172

5.3 Beispielhafte Anwendung 188

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zum IT-Tool 194

Abbildungsverzeichnis 195

Literaturverzeichnis 202

Anhang 212

0 Zusammenfassung

Die anforderungsgerechte Gestaltung der Montage komplexer Produkte sowie die Fähigkeit, die Montage kontinuierlich zu optimieren ist eine Voraussetzung für die Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit mittelständischer Unternehmen. Die Auswahl und Realisierung bedarfsgerechter Montagekonzepte trägt dazu bei, den Unternehmenserfolg zu steigern. Unternehmen stehen jedoch vor der Herausforderung, aus der Vielzahl von Konzepten und Methoden zur Montagekonfiguration diejenigen auszuwählen, die für die eigenen Bedarfe und Rahmenbedingungen geeignet sind. Die Zielsetzung des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es, dazu beizutragen Montagekonzepte und Methoden zu identifizieren und zu systematisieren, die den Montageerfolg mittelständischer Unternehmen erhöhen. Dazu wurde im Forschungsprojekt ein Montagekonfigurationsprozess erarbeitet, der Unternehmen bei der Gestaltung der Montage unterstützt. Der im Forschungsprojekt erarbeite Montagekonfigurationsprozess stellt einen praxisorientierten Ansatz dar, der es insbesondere KMU ermöglicht, strukturiert und methodengestützt ihre Montage zu gestalten. Bei der Ausgestaltung und praktischen Umsetzung des theoretischen Modells in einem IT-Tool wurden die spezifischen Anforderungen von KMU berücksichtigt.

Um sicherzustellen, dass alle relevanten Gesichtspunkte aus der Theorie bei der Gestaltung des Montagekonfigurationsprozesses berücksichtigt werden, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts zunächst die Grundlagen der Kleinserienmontage komplexer Produkte in mittelständischen Unternehmen analysiert und beschrieben. Dabei wurden die Besonderheiten und Anforderungen der Kleinserienmontage komplexer Produkte aufgezeigt. Mit Kleinserienmontage werden Montagen bezeichnet, die sich durch geringe Wiederholhäufigkeiten ähnlicher oder identischer Montageobjekte und eine geringe produzierte Jahresstückzahl auszeichnen. Zudem zeichnet sich die Kleinserienmontage durch eine hohe Abhängigkeit von Kundenwünschen und eine auftragsabhängige Materialbereitstellung aus. Komplexe Produkte sind durch eine hohe Anzahl von Bauteilen, eine hohe Anzahl von Varianten, eine hohe Komplexität der Bauteilschnittstellen und viele mögliche Designalternativen

gekennzeichnet. Da mittelständische Unternehmen häufig komplexe Produkte in kleinen Serien montieren, sehen sie sich den genannten Herausforderungen gegenüber. Neue Montagkonzepte müssen die Unternehmen dabei unterstützen, diesen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen. Neben der Begriffanalyse wurden in der Literatur vorliegende Vorgehensweisen zur Montageplanung untersucht. Die Montageplanung setzt sich bei allen analysierten Vorgehensweisen aus mehreren Prozessschritten zusammen. Die Planung beginnt jeweils mit der Analyse der zu montierenden Produkte sowie der Randbedingungen des Unternehmens. Das Ergebnis der Analyse zeigt die Anforderungen an das Montagesystem auf. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wird ein grober Montageablauf skizziert, der die Fügereihenfolge festlegt. Im nächsten Schritt wird daraus ein Montagesystementwurf entwickelt, der aus der Bestimmung des Montageprinzips und des Groblayouts besteht. Darauf aufbauend wird der Montageablauf detailliert ausgearbeitet, indem ein Ablaufplan erstellt wird und die notwendigen Füge- und Handhabungsprozesse festgelegt werden. Im Anschluss daran wird das Feinlayout des Montagesystems erstellt, Betriebsmittel ausgewählt und konfiguriert. In allen Phasen sind dabei kontinuierlich die möglichen Lösungen zu bewerten und auszuwählen. Die analysierten Vorgehensweisen beinhalten die wesentlichen Schritte bei der Montagekonfiguration, es werden jedoch nur bedingt die spezifischen Herausforderungen der Montage in der Kleinserienfertigung bei KMU berücksichtigt. Aus den Literaturanalysen wurden Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess für die Kleinserienmontage komplexer Produkte ermittelt. Wesentliche Ergebnisse sind, dass die Produktgestaltung Bestandteil der Montagekonfiguration sein muss und dass ein sequenzielles Vorgehen bei der Montageplanung von Relevanz ist. Um mögliche geeignete Gestaltungsansätze und Methoden zur Produktgestaltung für KMU auszuwählen, müssen Ansätze zur Gestaltung des Montageobjekts sowie zur Gestaltung von Produktordnungssystemen ausgearbeitet werden. Im Bereich der Montagegestaltung wurden die Gestaltungsbereiche Bereitstellung, Layout, Mitarbeitereinsatz und Qualität betrachtet und es wurden geeignete Konzepte und Methoden analysiert. Ein Hauptaugenmerk bei der Auswahl der Konzepte lag auf deren Eignung zur Verbesserung der Produkt- und Mengenflexibilität der Montage. Es

konnte zudem festgestellt werden, dass die Gestaltungsansätze in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen und Zielen des Unternehmens einzusetzen sind. Neben den Vorgehensweisen zur Montagekonfiguration wurden Methoden und Instrumente zur Wirtschaftlichkeitsbewertung erarbeitet. Schwerpunkt lag dabei auf der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung, die die Basis für die Bewertung von Gestaltungskonzepten und Methoden bildet. Eine empirische Anforderungsanalyse schloss sich an. Zur Identifikation von Anforderungen an den Montagekonfigurationsprozess bei KMU sowie zur Ermittlung von geeigneten Gestaltungsansätzen und Methoden im Rahmen der Montagekonfiguration wurde zunächst eine Fallstudienanalyse durchgeführt. Es wurden 15 Fallstudien aus den Bereich Produkt- und Montagegestaltung analysiert. Die Fallstudien sind sowohl in großen als auch mittelständischen Unternehmen entstanden. Die Anforderungsanalyse ergab, dass für eine ganzheitliche Gestaltung der Montage die montageorientierte Produktgestaltung sowie Produktordnungssystemgestaltung einen wesentlichen Beitrag leistet. Der Bereich der Montagegestaltung unterteilt sich in die Materialbereitstellung, die Layoutgestaltung, die Produktionsorganisation, die Produktionssteuerung und die qualitätsorientierte Gestaltung. Neben der Analyse der Gestaltungsbereiche konnten auf Basis der Fallstudienanalyse Ziele, die mit der Produkt- und Montagegestaltung verfolgt werden, ermittelt werden. Um die Anforderungen an die Montagekonfiguration der KMU im Vergleich zu GU zu ermitteln, wurden bei 10 Industriepartnern unter Verwendung eines standardisierten Analyseleitfadens Expertengespräche durchgeführt. Es wurden Fragen zu den Problemen, zum Handlungsbedarf und Einflussgrößen im Rahmen der Montagegestaltung gestellt. Auf Basis der Ergebnisse wurden Anforderungen und Einflussgrößen der Montageplanung bei KMU und GU identifiziert. Wesentliche Anforderungen an den Montagekonfigurationsprozess sind die Berücksichtigung von Produkt- und Prozessgestaltung bei der Montagekonfiguration. Zudem sind finanzielle Aspekte und Kosten bei der Montagegestaltung einzubeziehen. Der Montagekonfigurationsprozess muss dazu geeignet sein, Konzepte zur Steigerung der Flexibilität für Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt und Schwankung von Aufträgen aufzuzeigen. Zudem ist eine strukturierte Vorgehensweise zur Bewertung von Montagekonzepten auszugestalten, die die

Chancen und positiven Wirkungen aufzeigt. Um repräsentative Aussagen zu erhalten, erfolgte eine Expertenbefragung von 72 produzierenden Unternehmen unter Verwendung eines Fragebogens. Auf deren Basis wurden die Ziele, die Unternehmen mit der Montagekonfiguration verfolgen, ermittelt. Zudem wurden mögliche Gestaltungsansätze und Methoden bezüglich ihrer Eignung für die Kleinserienmontage untersucht. Die Analyse der Ansätze ergab, dass Unternehmen sowohl Ansätze zur Produktgestaltung als auch Ansätze im Bereich der Montageplanung erfolgreich realisieren und sie die Produkt- sowie die Montagegestaltung als gleich bedeutsam einschätzen. Ein weiteres Ergebnis war, dass in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößenkombinationen unterschiedliche Gestaltungsansätze mit Erfolg zur Zielerreichung eingesetzt werden, so dass allgemeingültige Aussagen für den Konzepteinsatz nicht zielführend sind.

Die im Rahmen der theoretischen und empirischen Analysen identifizierten Anforderungen und Schwerpunkte zur Konfiguration der Kleinserienmontage wurden in einem theoretischen Modell berücksichtigt. Das Ziel des Modells zur Montagekonfiguration ist die Steigerung der Effektivität und Effizienz der Montage durch die Integration der Produktgestaltung in den Montagekonfigurationsprozess sowie die parameterorientierte Ausgestaltung der Montage. Zur Sicherstellung der Erfüllung der Ziele wurden folgende sechs Bildungsgesetze definiert, die den Rahmen des Modells bilden: Flussorientierung, Schaffung robuster Prozesse, Kontinuierliche Verbesserung, kundenorientierte und flexible Prozesse, organisationsübergreifende Montageplanung und Produktlebenszyklusorientierung.

Die Grundstruktur des Modells wird durch einen Montagekonfigurationsprozess gebildet, der sich aus folgenden fünf Phasen zusammensetzt: „Analyse der Rahmenparameter“, „montageorientierte Produktgestaltung“, „Montageorganisationsgestaltung“, „Montagefeinplanung“ und „Wirtschaftlichkeitsbewertung“. Der Phase „montageorientierte Produktgestaltung“ sind die beiden Gestaltungsbereiche Montageobjektgestaltung und Produktordnungssystemgestaltung zugeordnet. Die Phase „Montagefeinplanung unterteilt sich in die Unterbereiche Materialbereitstellung, Layout/Materialfluss, Mitarbeitereinsatz und

qualitätsorientierte Gestaltung. Der Prozess zur Montagekonfiguration wurde ergänzt, indem relevante Einflussgrößen, die in den Phasen 2, 3 und 4 wirken, erarbeitet wurden. Es wurden insgesamt 22 Einflussgrößen identifiziert, die in die Einflussgrößenkategorien Produktkomplexität, Produktprogrammkomplexität, Dynamik und Montagekomplexität unterteilt werden können. Die Einflussgrößen wurden unter Verwendung von statistischen Korrelationsanalysen den Phasen zugeordnet. Für jede der Einflussgrößen wurden auf Basis der theoretischen und empirischen Analysen konkrete Parameterwerte ermittelt. Empfehlungen zu Gestaltungsansätzen werden in Abhängigkeit von der Einflussgrößenkombination des betrachteten Unternehmens gegeben. Die Empfehlung der Gestaltungsansätze erfolgte unter Verwendung von Flussdiagrammen. Je Gestaltungsbereich des Montagekonfigurationsprozesses wurden Flussdiagramme ausgearbeitet, in die sowohl die Ergebnisse aus der Fragebogenaktion als auch der Expertengespräche eingeflossen sind. Beim Durchlaufen der Flussdiagramme werden die Ausprägungen der Einflussgröße sequentiell abgefragt und in Abhängigkeit ihrer Ausprägung werden Empfehlungen zum Einsatz von Gestaltungsansätzen gegeben. Für Unternehmen mit einem sehr heterogenen und variantenreichen Produktspektrum werden demzufolge beispielsweise Ansätze empfohlen, die dazu beitragen, das Variantenspektrum zu reduzieren und zu beherrschen. Neben den Flussdiagrammen mit den Empfehlungen für Gestaltungsansätze sind jedem Gestaltungsbereich Methoden zur Realisierung der Gestaltungsansätze zugeordnet. In Abhängigkeit von der jeweiligen Problemstellung und Phase sind unterschiedliche Methoden und Instrumente sinnvoll. Im Bereich der Produktgestaltung eignen sich beispielsweise Methoden, die die Kommunikation zwischen Entwicklung und Montage fördern, während im Bereich der Layoutgestaltung mathematische Methoden wie etwa das Kreisverfahren nach Schwerdtfeger eingesetzt werden können.

Zur Bewertung der identifizierten Gestaltungsansätze zur Produkt- und Montagegestaltung wurde ein Bewertungskonzept im Sinne der erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung entwickelt. Dazu wurden alle im Modell berücksichtigten Gestaltungsansätze hinsichtlich der ermittelten Zielgrößen bewertet. Demzufolge erfolgte eine Beurteilung der Gestaltungsansätze hinsichtlich ihrer Ziel-

wirkung bezüglich der Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Flexibilitätsziele. Zur Bewertung der im Rahmen der Modellausgestaltung ermittelten Methoden und Instrumente wurde ein 3-stufiges Bewertungskonzept realisiert. Die Methoden können gut geeignet, geeignet oder nicht geeignet für die Realisierung der Gestaltungsansätze sein. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung wird zudem durch Methoden zur monetären Bewertung der Produkt- und Montagkonzepte ergänzt. In Abhängigkeit von den Zielsetzungen des Unternehmens eignen sich unterschiedliche Methoden zur Bewertung von Investitionen. Wenn beispielsweise Absatzzahlen berücksichtigt werden sollen, ist die Break-Even-Analyse eine leicht zu realisierende Methode, die diesen Aspekt beinhaltet.

Ein Test der Ergebnisse der Modellgestaltung erfolgte anhand von 12 Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen. Der Modelltest setzte sich aus den drei Bestandteilen Modellvorstellung, Diskussion von Gestaltungsansätzen und Methoden sowie Diskussion und Anwendung des IT-Tools zusammen. Auch wurde das geplante IT-Tool visualisiert um die Funktionalitäten sowie die Benutzerfreundlichkeit transparent zu machen. Das IT-Tool „Assembly Optimizer“ zeigt, an die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen angepasste Gestaltungsempfehlungen je Phase des Montagekonfigurationsprozesses, auf. Zudem ist ein Unternehmensvergleich implementiert, der erfolgreiche Gestaltungslösungen vergleichbarer Unternehmen aufzeigt. Die Inhalte und Ziele der empfohlenen Methoden und Gestaltungsansätze sind im IT-Tool mithilfe von Steckbriefen integriert.

Zur erfolgreichen Kommunikation der Ergebnisse des Forschungsvorhabens wurde ein Leitfaden erarbeitet. Mit dessen Hilfe können die Inhalte des Modells zur Montagekonfiguration in der Kleinserienmontage und die Inhalte und Funktionalitäten des IT-Tools strukturiert und standardisiert vermittelt werden. Es bietet ausführliche Informationen hinsichtlich der Anwendungsbereiche und Funktionen des IT-Tools. Der Nutzen des IT-Tools begründet sich darin, dass dem Anwender auf strukturierte Weise ein geführtes Vorgehen zur Verfügung gestellt wird, mit dessen Hilfe unternehmensspezifische Empfehlungen zur Produkt- und Montageverbesserung gegeben werden. Da die Empfehlungen an den konkreten Zielen des Unternehmens ausgerichtet werden, ist damit

eine zielgerichtete Verbesserung der Montage realisierbar. Je nach Auswahl der Ziele können durch die Umsetzung der Gestaltungsempfehlungen sowohl Kosten und Durchlaufzeiten reduziert als auch die Liefertreue, die Flexibilität und die Qualität in der Montage erhöht werden. Das IT-Tool bietet eine praxisorientierte Lösung zur Konfiguration der Montage bei KMU.

Zum Transfer der Ergebnisse des Forschungsprojekts in die Wirtschaft wurden Workshops durchgeführt. Zudem wurden die Forschungsergebnisse über wissenschaftliche Zeitschriften und Online über Newsletter veröffentlicht. Auch erfolgte die Vorstellung und Diskussion der Inhalte und Ergebnisse des Forschungsprojekts auf Kolloquien und Kongressen mit Unternehmen. Das IT-Tool sowie das Handbuch steht interessierten Unternehmen kostenlos im Internet unter folgendem Link zur Verfügung.

http://www.bwl.wi.tum.de

(Menüpunkt Forschung => Forschungsprojekte)

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Komplexität des Unternehmensumfelds steigt durch sich ändernde Technologien, neue Wettbewerber in einer globalisierten Welt und immer höheren Kundenwünschen in den letzten Jahren beständig an (vgl. Wildemann 1998a, S. 47). Neben der stärkeren Kundenorientierung diversifizieren zahlreiche Unternehmen ihr Produktspektrum und bedienen zunehmend Nischenmärkte, um die eigene Wettbewerbssituation und den Unternehmensbestand zu sichern (vgl. Günthner/Wilke/Zäh 2006, S. 63 und Piller/Waringer 1999, 9 ff). Mit Hilfe neuer Produktvarianten, einhergehend mit kürzeren Lieferzeiten, sollen Kunden gehalten und Neukunden hinzugewonnen werden. Eine langfristige Kunden-Abnehmer-Beziehung ist hierbei von wachsender Bedeutung. Diese kann neben qualitativ hochwertigen vor allem durch kundenindividuelle Produkte gefestigt werden. Die zunehmende Segmentierung des Angebots und die kundenspezifischeren Produkte führen zu heterogenen Produktprogrammen mit großer Programmtiefe und -breite. Die steigende Individualisierung der Produkte spiegelt sich insbesondere auch in den Produktionsprozessen wider. Die Komplexität der Produktionsprozesse und Produktionsorganisation steigt auf ein Maß, das Unternehmen häufig kaum mehr handhaben können (vgl. Adam/Johannwille 1998, S. 5 ff, Wiendahl/Gerst/Keunecke 2004, S. 6 f und Wildemann 1998b, S. 1). Auf Grund dieser Entwicklungen erfolgt die Fertigung und Montage daher häufig nur noch in kleinen Serien. Charakteristische Kennzeichen der Einzel- und Kleinserienfertigung sind eine geringe Wiederholhäufigkeit von Produktionsschritten, eine geringe Jahresstückzahl, geringe Losgrößen, eine hohe Teilevielfalt, unterschiedliche Teilegeometrien und eine kundenauftragsbezogene Montage (vgl. Schimke 1977). Daraus resultieren drei wesentliche Herausforderungen, die die Fertigung und Montage kleiner Serien betreffen: Die Realisierung häufiger Wechsel von Montageaufgaben, komplexe Montageaufgaben und die schwere Planbarkeit von Montageaufgaben. Die veränderten Umweltbedingungen und daraus resultierenden Probleme wirken verstärkt auf die Montage als letzte Stufe im Produkterstellungsprozess.

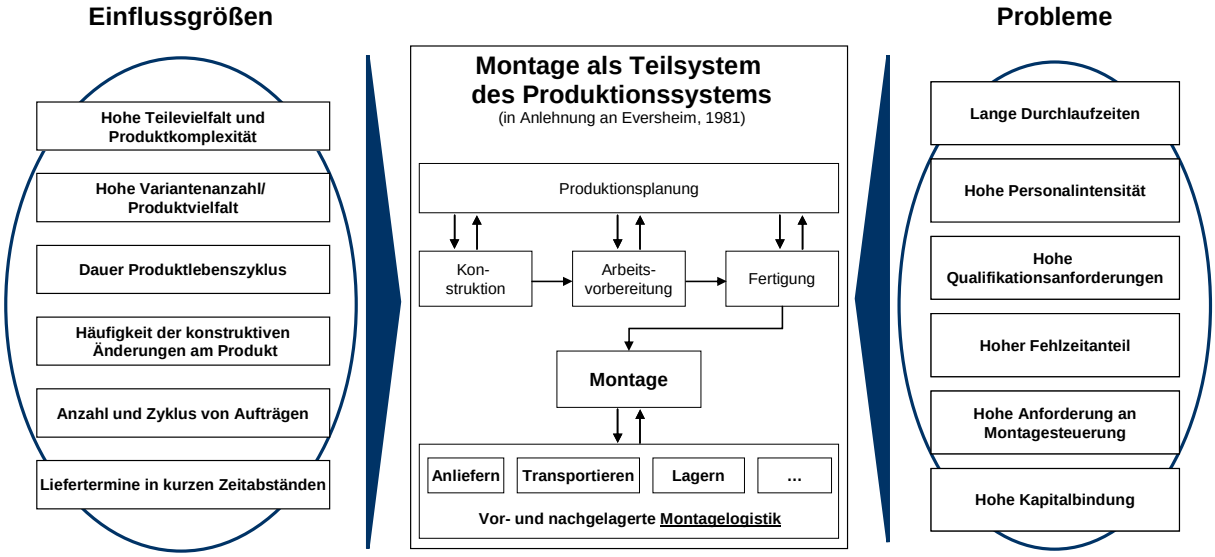


Abbildung 1-1: Einflussgrößen und Probleme der Kleinserienmontage
(In Anlehnung an Eversheim (1981))

Die Montage stellt den Bereich im Produktionsprozess dar, in dem aus Einzelteilen eine funktionsfähige Einheit gebildet wird. Sie beansprucht je nach Produkt bis zu 70 % der Gesamtproduktionszeit. Ein Montagezeitanteil von bis zu 70 % findet sich beispielsweise in der Elektro- und Feinwerktechnik (vgl. Lotter 2006a, S. 3). Diese Zahlen beruhen insbesondere auch darauf, dass in den letzen Jahren für die Teilefertigung bereits weitreichende Optimierungsmaßnahmen umgesetzt wurden. Rationalisierungspotenziale liegen in Zukunft also vor allem noch in der Montagegestaltung. Für den Bereich der Montage und insbesondere für die Klein- und Mittelserienmontage wurden nur geringfügig Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet und realisiert (vgl. Brecher/Schapp 2009, S. 7).

Neue Konzepte der Montagegestaltung für die Kleinserienmontage müssen darauf abzielen, die Auswirkungen, die aus den geänderten Rahmenbedingungen resultieren, zu berücksichtigen. Es ist notwendig, dass die Montageprozesse und -systeme an die sich stetig ändernden Anforderungen flexibel und schnell angepasst werden können, ohne dass die Kosten signifikant erhöht werden (vgl. Lotter 2006b, S. 4). Montagekonzepte müssen außerdem sicherstellen, dass die vom Markt geforderte Produktvielfalt auch in Hochlohnländern effizient realisiert werden kann, um wettbewerbsfähige Preise anbie-

ten zu können. Dazu ist ein ganzheitlicher Ansatz notwendig, der die Gestaltung der Produkte und der Montageabläufe beinhaltet. Aus den geänderten Rahmenbedingungen resultieren vier wesentlichen Herausforderungen an die Montage, die in Abbildung 1-2 zusammengefasst sind. Neben dem Erfordernis von Effizienzsteigerung und Kostensenkung sind die Flexibilität und die Wandlungsfähigkeit in der Montage zu steigern. Dies ist in Verbindung mit einer Verringerung und Beherrschung der Komplexität in der Montage zu realisieren.

Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bedürfen einer Montage, die an die Unternehmensbedürfnisse angepasst ist. Dazu ist ein Montagekonfigurationsprozess notwendig, der sowohl die äußeren Rahmenbedingungen des Unternehmens berücksichtigt als auch auf Basis der individuellen Unternehmensziele das optimale Montagekonzept ermittelt.

Abbildung 1-2: Erfordernisse der Kleinserienmontagegestaltung
(In Anlehnung an Brecher/Schapp (2009)

1.2 Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsprojektes ist die Erarbeitung eines in der Praxis anwendbaren Modells zur Konfiguration der Kleinserienmontage komplexer Produkte, um die Effizienz und Effektivität der Kleinserienmontage zu steigern. Basis hierfür bildet die Verknüpfung von Prozess- und Produktgestaltung, mit dem

Ziel, eine Methodik zur Konfiguration der Montage zu entwickeln, die sich auf Bildungsgesetze und eine betriebswirtschaftliche Erfolgsbeurteilung stützt. Dazu werden bestehende Gestaltungsansätze und Methoden zur Produkt- und Montagegestaltung identifiziert und analysiert und ein Konzept- und Methodenbaukasten zur Montagekonfiguration bereitgestellt. Durch die Überführung der Forschungserkenntnisse in ein benutzerfreundliches IT-Tool wird ein schneller und einfacher Praxistransfer der Ergebnisse des Forschungsprojekts sichergestellt.

- Gestaltung eines Montagekonfigurationsprozesses
- Methodische Unterstützung bei der Konfiguration der Montage
- Erarbeitung von Bildungsgesetzen zur Strukturierung der Montage
- Erarbeitung von Konzepten zur Sicherstellung der Wandlungsfähigkeit der Montagekonzepte
- Einflussgrößenspezifische Gestaltung der Montage
- Quantitative und qualitative Beurteilung von Gestaltungsalternativen
- Anwendung der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Abbildung des Methodenbaukastens in einem IT-Tool
- Schneller Transfer der Erkenntnisse in die Breite der Unternehmen

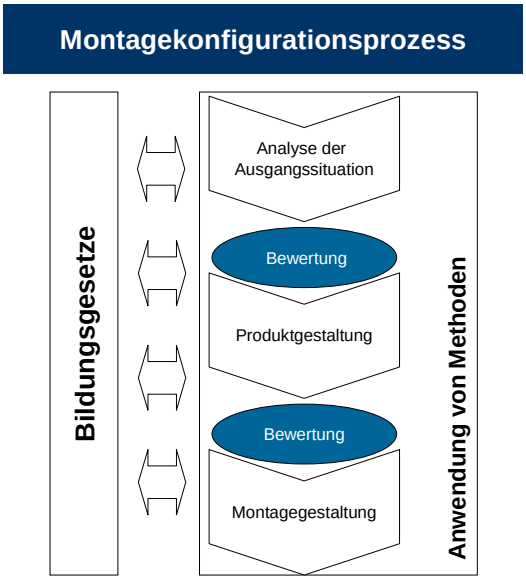


Abbildung 1-3: Zielsetzung des Forschungsprojekts

Im Forschungsprojekt wird folgenden Fragen nachgegangen:

- Wie ist ein KMU-gerechtes Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage komplexer Produkte unter besonderer Berücksichtigung der KMU-spezifischen Restriktionen und Rahmenbedingungen zu gestalten?

- Welche Einflussgrößen wirken auf die Montagekonfiguration komplexer Produkte und welche Gestaltungsansätze und Methoden sind als effizienz- und effektivitätssteigernde Empfehlungen für die KMU abzuleiten?

- Wie kann der Konfigurationsprozess durch ein bedarfsgerechtes IT-Tool operationalisiert werden, um unter Berücksichtigung der internen und externen Rahmenbedingungen den Montagekonfigurationsprozess zu unterstützen?

- Wie kann das IT-Tool KMU zur Verfügung gestellt werden, um spürbare Impulse zur Stabilisierung der Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsraums Deutschland geben zu können?

1.3 Lösungsweg und methodisches Vorgehen

Der Lösungsweg und darauf aufbauend die Vorgehensweise im Forschungsprojekt ist in fünf Arbeitspakete unterteilt, die nacheinander durchlaufen werden (vgl. Abb. 1-4). Durch die stufenweise Vorgehensweise soll sichergestellt werden, dass alle relevanten Aspekte der Montagekonfiguration kleiner Serien bei KMU im Rahmen des Forschungsprojekts berücksichtigt werden.

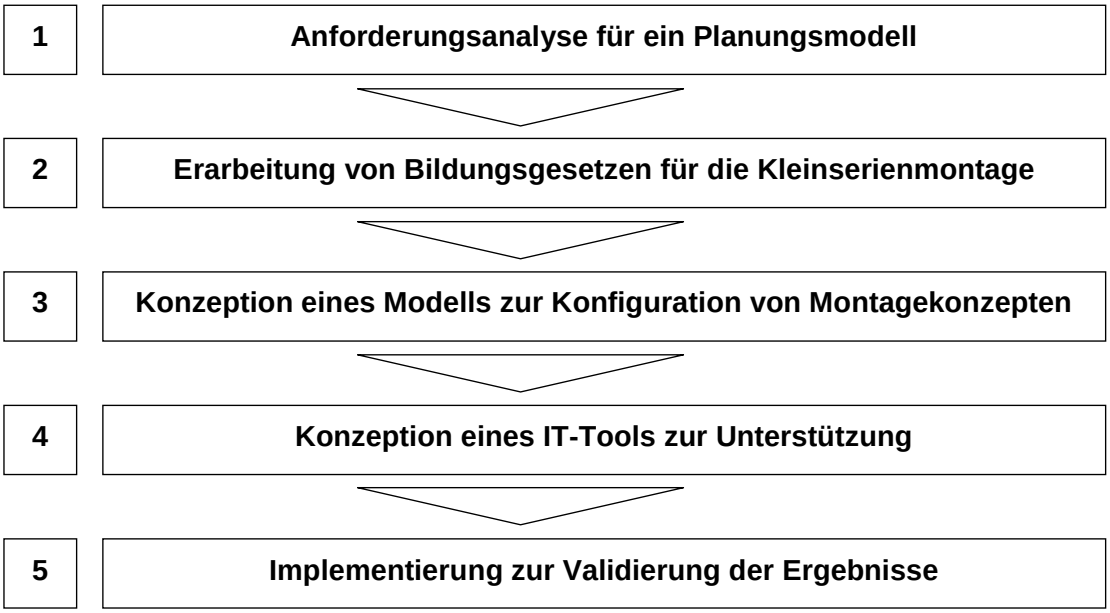


Abbildung 1-4: Lösungsweg des Forschungsvorhabens

Arbeitspaket 1 - Anforderungsanalyse:

Um die Anforderungen an einen Konfigurationsprozess für die Kleinserienmontage komplexer Produkte bei KMU zu ermitteln, wurden Analysen der bestehenden Literatur, die Analyse von 15 Fallstudien sowie 10 Expertengesprä-

che mit Vertretern aus Unternehmen durchgeführt. Die Fallstudien sind den Untersuchungsbereichen Montage- und Produktgestaltung zugeordnet. Die befragten Experten sind sowohl im Bereich der Fertigungs- und Montageleitung als auch in der Montageplanung tätig. Zur Durchführung der Expertengespräche wurde ein standardisierter Interviewleitfaden erstellt, der die Grundlage für die Gespräche bildete. Dabei wurden neben den spezifischen Anforderungen von KMU Einflussgrößen auf die Montageplanung und relevante Gestaltungsansätze und Methoden im Rahmen der Montagekonfiguration ermittelt.

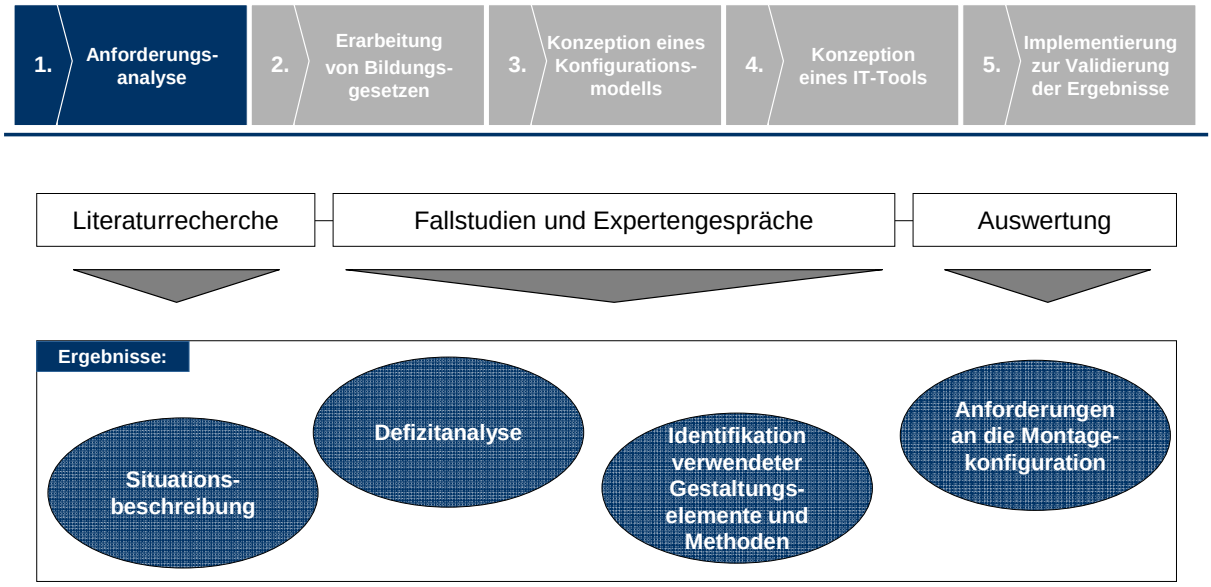


Abbildung 1-5: Inhalte des Arbeitspakts 1

Arbeitspaket 2 – Erarbeitung von Bildungsgesetzen:

Die Erarbeitung von Bildungsgesetzen basierte sowohl auf Literaturanalysen als auch auf den Gesprächen mit den Experten in der Kleinserienmontage. Die Analyse von Literatur aus den Bereichen Montage, Fertigung, Produktordnungssysteme und Montageobjektgestaltung diente als Grundlage für die Identifikation und Definition relevanter Bildungsgesetze. Vorhandene Bildungsgesetze wurden analysiert und bezüglich ihrer Eignung für die Montage kleiner Serien bei KMU beurteilt. Ziel war die Analyse von Gesetzen im Sinne von Leitlinien, die die Grundlage zur Ausgestaltung der Montage dienen. Es wurden sechs Bildungsgesetze erarbeitet, die den Rahmen für die Ausgestaltung des Prozesses zur Konfiguration der Kleinserienmontage bei KMU bilden.

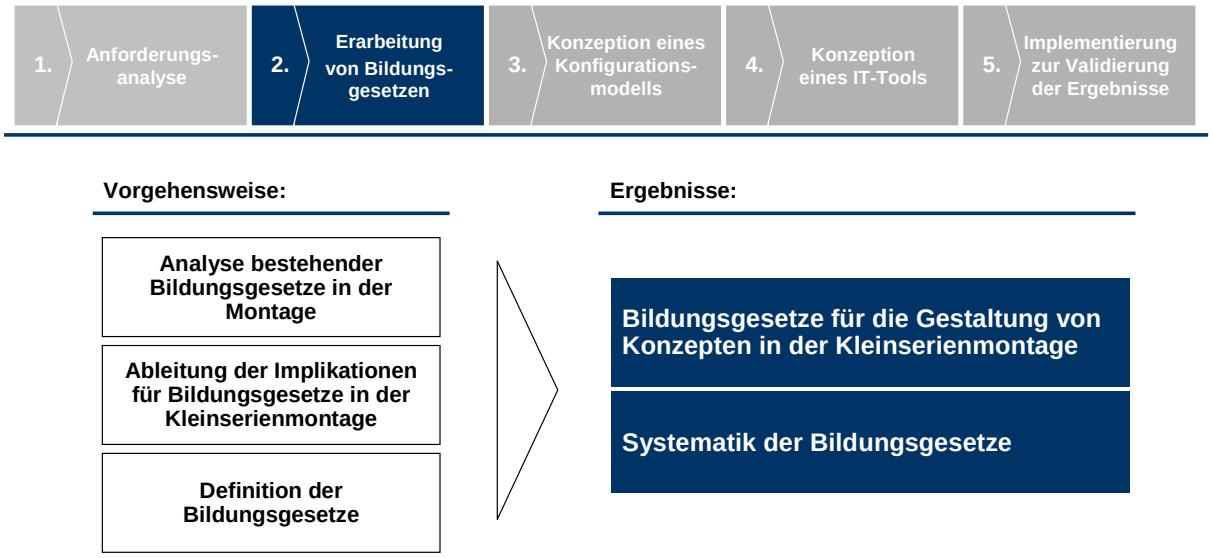


Abbildung 1-6: Inhalte des Arbeitspakts 2

Arbeitspaket 3 – Konzeption eines Konfigurationsmodells:

Um die Systematisierung der erarbeiteten Methoden und Gestaltungsansätze sowie eine Zuordnung der Methoden und Gestaltungsansätze zu den Prozessschritten des Konfigurationsprozesses zu erreichen, wurde ein Fragebogen erstellt, der an Unternehmen versendet wurde. Mit dessen Hilfe wurden zudem die Einflussgrößen auf die Montagekonfiguration parametrisiert. Die Parametrisierung diente der Spezifikation der Einflussgrößen und Rahmenbedingungen des Modells. Die Ermittlung der Ausprägungsformen der Parameter erfolgte durch die fragenbogenbasierte Befragung von 72 Unternehmen. Die Ergebnisse wurden mithilfe von statistischen Analysen ausgewertet. Zudem wurden weitere Gestaltungsansätze und Methoden identifiziert, die die Unternehmen bei der Montagekonfiguration erfolgreich unterstützten. Aufbauend auf den theoretischen Vorarbeiten, der Fragebogenaktion und den Expertengesprächen wurde ein ganzheitliches Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei KMU entwickelt. Grundlage des Modells ist ein fünfphasiger Montagekonfigurationsprozess, dessen Phasen Gestaltungsmöglichkeiten zum Methodeneinsatz und zu Konzepten zugeordnet sind. Im Modell wurde neben der Gestaltung der Montage und Produkte ein Konzept zur Wirtschaftlichkeitsbewertung erarbeitet. Das Konzept basiert auf den Prinzipien der erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalyse und bildet die Grundlage bei der Entscheidung für oder gegen die Montagekonzepte.

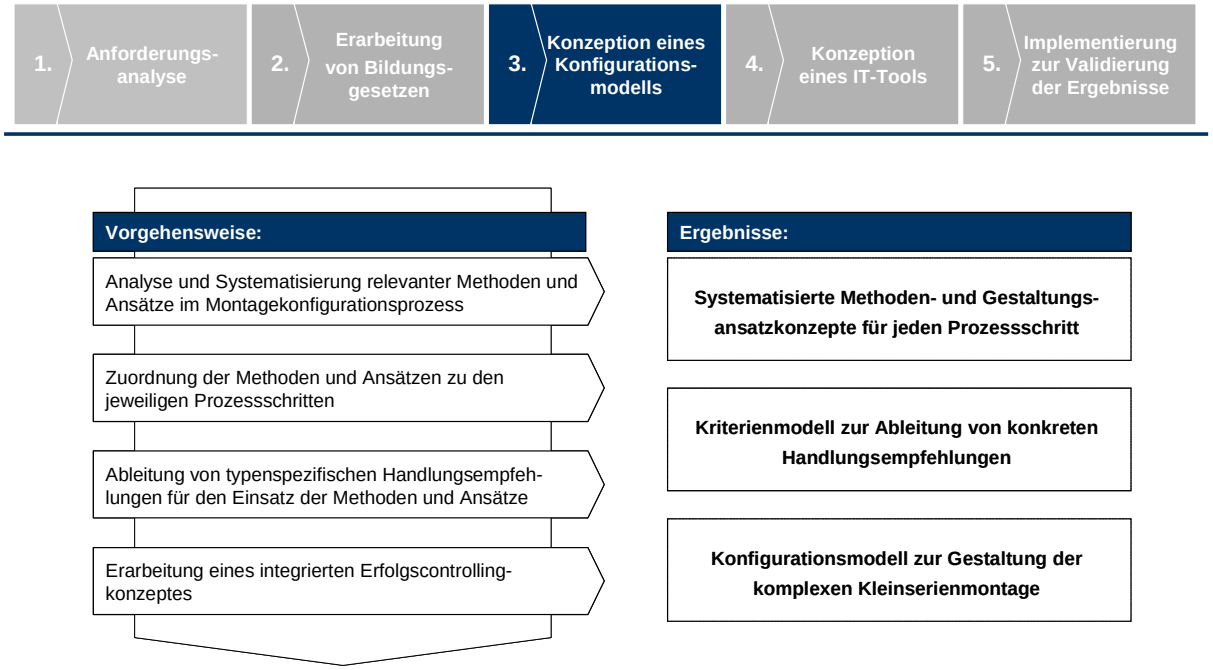


Abbildung 1-7: Inhalte des Arbeitspakts 3

Arbeitspaket 4 – Konzeption eines IT-Tools:

Zur zielführenden Umsetzung des Modells wurde dieses in ein frei zugängliches IT-Tool zu Unterstützung der Unternehmen überführt. Das IT-Tool zielt darauf ab, KMU ein Instrument zur Verfügung zu stellen, das sie bei der Konfiguration ihrer Montage unterstützt. Hierzu wurde ein Lastenheft erarbeitet, welches den Montagekonfigurationsprozess ganzheitlich abbildet. Die Inhalte und die Konzeption des IT-Tools wurden mit den Unternehmen in Workshops und Expertengesprächen abgestimmt. Zudem erfolgte ein Modelltest mit dem fertig gestellten Tool. Im Ergebnis eignet sich das IT-Tool zur Abgabe von einflussgrößenspezifischen Empfehlungen zur Produkt- und Montagegestaltung. Zudem werden die Methoden- und Gestaltungsansatzempfehlungen qualitativ bewertet. Neben der Umsetzung des Montagekonfigurationsprozesses wurde nach Diskussion mit den Montageexperten im IT-Tool ein Unternehmensvergleich implementiert, welcher es ermöglicht erfolgreiche Montagelösungen vergleichbarer Unternehmen zu identifizieren. Das IT-Tool bildet damit eine dynamische Lösung, die neben aktuellen Erkenntnissen auch für zukünftige Entwicklungen in der Industrie eine Basis für die Verbesserung der Montage bei Unternehmen bilden kann.

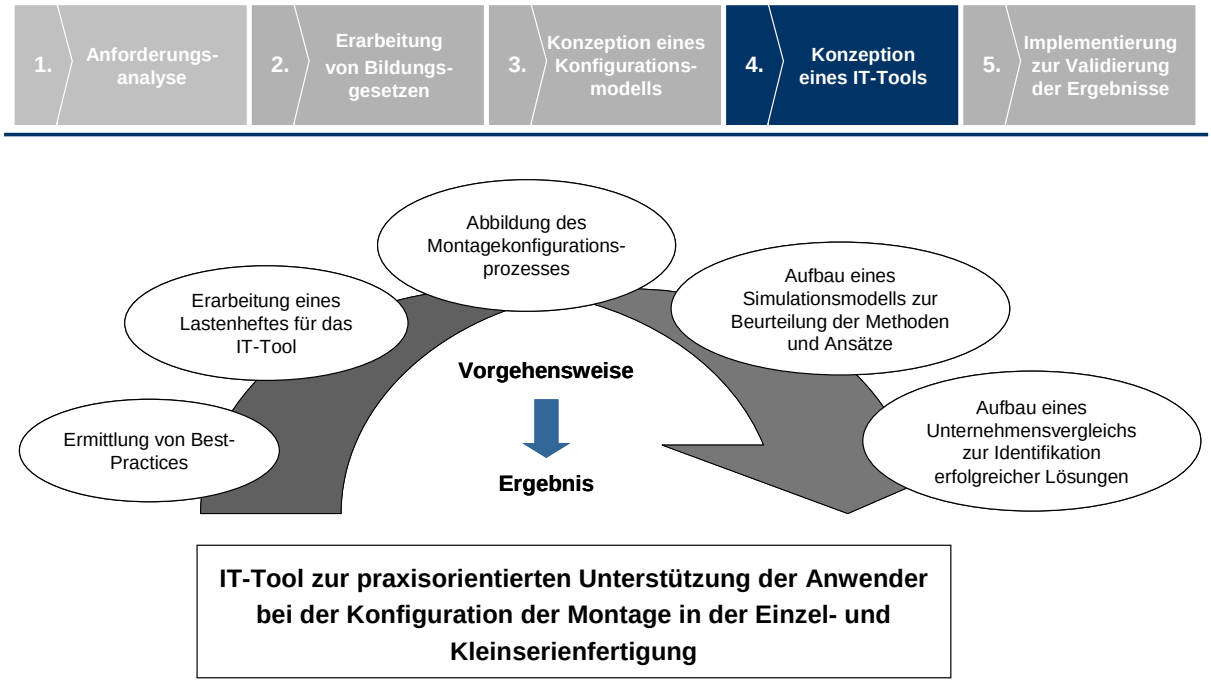


Abbildung 1-8: Inhalte des Arbeitspakts 4

Arbeitspaket 5 – Implementierung und Validierung der Ergebnisse:

Zum Test der Erkenntnisse der Forschungstätigkeiten wurden in ausgewählten Unternehmen die Systematik des Modells sowie die Funktionalitäten des IT-Tools anhand konkreter Fallstudien überprüft. An konkreten Praxisbeispielen sowie in Diskussion mit den Experten wurden dabei die Systematik zur Ermittlung von Gestaltungsempfehlungen und die jeweiligen Erfolgswirkungen getestet. Der Überprüfung des Modells und des IT-Tools erfolgte mit 12 Industrieunternehmen. Dabei wurden auch die Erfolgs- und Nutzenpotenziale des Modells ermittelt und überprüft sowie die Ergebnisse in den Unternehmen implementiert. Zur Vermittlung der Resultate an Unternehmen, die nicht Teilnehmer des Forschungsprojekts sind, wurde ein Schulungsleitfaden entwickelt. Im Leitfaden sind die Funktionen, Anwendungsmöglichkeiten und Erfolgswirkungen des IT-Tools beschrieben und visualisiert. Mit dessen Hilfe ist es den Unternehmen möglich, ohne zusätzliche Anleitung das auf der Lehrstuhlhomepage frei zugängliche IT-Tool anzuwenden. Durch die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse in einem Artikel einer Fachzeitschrift, im Abschlussbericht sowie die Information von Unternehmen über elektronische Newsletter ist der Ergebnistransfer in die Wirtschaft zusätzlich sichergestellt.

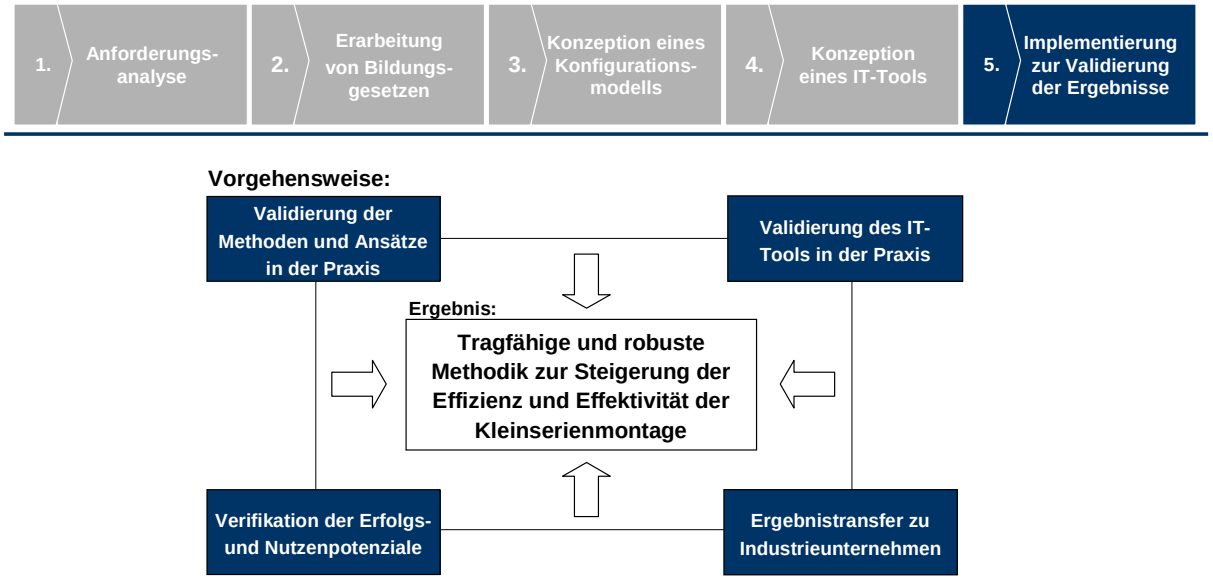


Abbildung 1-9: Inhalte des Arbeitspakts 5

1.4 Ergebnistransfer

Um die Anwendbarkeit der Ergebnisse des Forschungsprojektes sicherzustellen, fand ein intensiver Austausch mit Industrieunternehmen statt. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in Workshops des projektbegleitenden Ausschusses mit den Praxispartnern diskutiert. Zudem erfolgten Einzelgespräche mit Experten zur Verbreitung der Ergebnisse. Der Ergebnistransfer an weitere Industrieunternehmen ist durch Veröffentlichungen und der Vorstellung der Ergebnisse auf Kolloquien sichergestellt. Es wurden elektronische News mit den Inhalten des Forschungsprojekts an Vertreter der Wirtschaft versandt. Darüber hinaus wurden Artikel in Fachzeitschriften veröffentlicht, so dass die Ergebnisse einer breiten Basis von Unternehmen vermittelt werden konnte (vgl. z. B. Wildemann 2010f, S. 316). Zur Unterstützung der Unternehmen bei der Umsetzung der Ergebnisse wurde ein IT-Tool mit erstellt, das interessierten Unternehmen kostenlos zur Verfügung steht. Die Funktionalitäten wurden zudem in einem Leitfaden beschrieben, der die Anwendung des IT-Tools unterstütz. Die Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben dienen weiterhin als Grundlage für Diskussion in Arbeitskreisen, die sich bereits seit Jahren als Kommunikationsplattform für den Praxistransfer bewährt haben. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Maßnahmen zum Ergebnistransfer in tabellarischer Form zusammengestellt:

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum/Zeitraum
Maßnahme A: Transfer in die Wirtschaft durch Zusammenarbeit mit **Projektbegleitendem Ausschuss** (PA)	Diskussion und Erarbeitung der Forschungsergebnisse mit Vertretern des PA sowie Steigerung des Informationsaustauschs zwischen Unternehmen	**A1** Expertengespräche mit Vertretern des PA vor Ort bei Unternehmen (Unternehmen: Océ (17.12.2009), EADS (03.11.2009), Iwis (14.01.2010), G&D (26.10.2009), Rehau (19.10.2009), Siemens (13.12.2009), Bosch Rexroth (02.12.2009), FTI Group (04.06.2010), Stryker Osteosynthesis (06.05.2010), Möhlenhoff (29.04.2010))	I. Quartal 2009 - I. Quartal 2010 (realisiert)
		A2 Vorstellung der erzielten Zwischenergebnisse und Diskussion des weiteren Vorgehens mit Vertretern des PA in Sitzung des PA in München am Lehrstuhl (teilnehmende Unternehmen: Océ, EADS, Iwis, G&D und Stryker Osteosynthesis)	25. März 2010 (realisiert)
		A3 Abschlusspräsentation und Diskussion der erzielten Ergebnisse mit Vertretern des PA in Sitzung des PA in Poing bei Océ (teilnehmende Unternehmen des PA: Océ, EADS, Iwis, Stryker Osteosynthesis, Rehau, Siemens/Seas)	15. Juli 2010 (realisiert)
Maßnahme B: Transfer in die Wirtschaft durch die Durchführung von **Expertengesprächen** mit Montageexperten	Diskussion und Erarbeitung der Forschungsergebnisse mit Montageexperten von Unternehmen, die nicht Teil des PA sind sowie Steigerung des Informationsaustauschs zwischen Unternehmen	**B1** Expertengespräche mit Montageexperten von großen und mittelständischen Unternehmen (Unternehmen: Siepmann (12.05.2010), Modine (27.04.2010), Sennheiser (28.04.2010), Rational (02.06.2010), Knorr Bremse (18.06.2010), Agco (07.06.2010), Eissmann (31.05.2010), Roding (29.06.2010), Schleifring & Apparatebau (14.06.2010), Agfa Heath Care (01.07.2010))	I. - III. Quartal 2010 (realisiert)
		B2 Abschlusspräsentation und Diskussion der erzielten Ergebnisse mit Montageexperten des PA sowie weiteren interessierten Unternehmen in Poing bei Océ	15. Juli 2010 (realisiert)
Maßnahme C: Transfer in die Industrie durch **Kolloquien und Kongresse** mit Montage- bzw. Produktionsbezug	Transfer der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft durch Ansprache und Information von Unternehmen auf Kolloquien und Fachkongressen mit Bezug zur Thematik	**C1** Vorstellung des Forschungsprojekts sowie der Ergebnisse auf dem Münchner Management Kolloquium (Aushang eines Plakats, Kurzbeschreibung des Projekts, der Ansprechpartner und der Ergebnisse auf Flyer)	16./17. März 2010 (realisiert) 15./16. März 2011 (geplant)
		C2 Diskussion und Vorstellung des Forschungsprojekts auf 9. Deutschem Fachkongress Fabrikplanung mit Unternehmen (Unternehmen: Sennheiser, Modine)	27./28. April 2010 (realisiert)
		C3 Diskussion und Vorstellung des Forschungsprojekts auf 22. Deutschem Montagekongress mit Unternehmen (Unternehmen: Agfa Health Care, Bosch)	15./16. Juni 2010 (realisiert)

Abbildung 1-10: Transfermaßnahmen A bis C

Maßnahme	Ziel	Rahmen	Datum/Zeitraum
Maßnahme D: Transfer in die Industrie durch **Veröffentlichungen**	Umfassender und schneller Ergebnistransfer in die Wirtschaft, durch Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschrift und Versand sowie Veröffentlichung von Newsletter	**D1** Veröffentlichung der Zwischenergebnisse in der Fachzeitschrift "Zeitschrift für wirtschaftlichem Fabrikbetrieb" ZWF (Ausgabe: 4/2010) **D2** Veröffentlichung des FOP und der Zwischenergebnisse in elektronischen Online-Newslettern im Internet (frei zugänglich und erreichbar über die Lehrstuhl-Homepage www.bwl.wi.tum.de sowie Versand der Newsletter an die Industrieunternehmen des lehrstuhlinternen E-Mail-Verteilers) **D3** Veröffentlichung der Endergebnisse in Abschlussbericht, der interessierten Unternehmen zur Verfügung gestellt wird (zusätzlich Versand des Berichts an die am FOP beteiligten Unternehmen) **D4** Veröffentlichung der Ergebnisse in Fachzeitschriften (ZWF und Industrieanzeiger)	April 2010 (realisiert) ab 05. Mai 2009 (realisiert) 2 Newsletter mit Ergebnissen und IT-Tool-Beschreibung geplant im Oktober 2010 Oktober 2010 (realisiert) ab Oktober 2010 (geplant)
Maßnahme E: Transfer in die Industrie durch Erstellung und Veröffentlichung eines **frei zugänglichen IT-Tools**	Vermitteln der Ergebnisse des Forschungsprojekts an KMU durch die kostenlose Bereitstellung eines IT-Tools, das auf den Forschungsergebnissen basiert	**E1** Erstellung und Veröffentlichung eines IT-Tools zur Unterstützung der Unternehmen bei der Umsetzung der Ergebnisse des Projekts (Das IT-Tool ist über Lehrstuhl-Homepage www.bwl.wi.tum.de für Unternehmen frei zugänglich; die Inhalte und Ziele des FOP werden dort zudem kurz beschrieben) Unternehmen werden in Newsletter (Oktober 2010) über IT-Tool informiert **E2** Vorstellung, Diskussion und Abstimmung der Inhalte und Funktionalitäten des IT-Tools mit in das FOP integrierten Unternehmen und Experten; Abstimmung erfolgte entweder vor Ort oder telefonisch; Prototyp des IT-Tools wurde den am FOP beteiligten Unternehmen ab KW 29 zur Verfügung gestellt (Unternehmen: Möhlenhoff (29.04.10), Stryker Osteosynthesis (06.05.10), Siepmann (12.05.10), Eissmann Group (31.05.10), Rational (02.06.10), Agco (07.06.10), Schleifring & Apparatebau (14.06.10), Knorr Bremse (18.06.10), Roding (29.06.10), Agfa Heath Care (01.07.10)) **E3** Frei zugängliche und kostenlose Veröffentlichung des IT-Tools auf Lehrstuhl-Homepage und Erstellung eines Handbuchs im Sinne eines Leitfadens zur Anwendungsunterstützung	ab Mai 2010 (Umsetzung des IT-Tools ist realisiert; Veröffentlichung auf Lehrstuhlhomepage erfolgt in KW 40) ab Mai 2010 (realisiert) Oktober 2010 (realisiert)
Maßnahme F: **Master-, Projekt- und Diplomarbeiten** zu Inhalten und Problematik des Forschungsvorhabens	Kennenlernen und Vermitteln von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Methoden an Studenten und dadurch frühzeitige Schulung zukünftiger Unternehmensvertreter	**F1** Sechs Arbeiten zum Themenbereich des Forschungsprojekts: - 2 Projektarbeiten (1 Projektarbeit erfolgte in Zusammenarbeit mit mittelständischem Praxispartner (Schleifring & Apparatebau)) - 1 Masterarbeit - 3 Diplomarbeiten (1 Diplomarbeit erfolgte in Zusammenarbeit mit mittelständischem Praxispartner (Roding))	II. - IV. Quartal 2009 I. - IV. Quartal 2010 (realisiert)
Maßnahme G: **Information und Weiterbildung** von KMU	Ergebnistransfer und Informationsverbreitung durch Weiterbildung von Mitarbeitern kleiner und mittelständischer Unternehmen	**G1** Information von interessierten Unternehmensvertretern bzgl. der im Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse sowie des IT-Tools (Einmaliges Anschreiben von Unternehmen aus Lehrstuhldatenbank) **G2** Schulung von interessierten Unternehmensvertretern bzgl. der Anwendungsmöglichkeiten und Inhalte des IT-Tools (Information der Unternehmen erfolgt über Newsletter im Oktober 2010)	Oktober 2010 (geplant) ab IV. Quartal 2010 fortlaufend (geplant: konkrete Termine liegen noch nicht fest; Turnus wird in Abhängigkeit von Bedarf festgelegt)

Abbildung 1-11: Transfermaßnahmen D bis G

1.5 Charakterisierung der Forschungskonzeption

Die Grundlage der Forschungskonzeption bildet eine detaillierte theoretische und empirische Untersuchung der Situation der Unternehmen mit dem Ziel, daraus Anforderungen an die Konfiguration der Kleinserienmontage bei KMU zu entwickeln. Auf Basis von Literaturauswertungen und der Analyse von 15

Fallstudien werden die Herausforderungen der Unternehmen im Bereich der Kleinserienmontage ermittelt sowie erfolgreiche Gestaltungsansätze und Methoden identifiziert.

Die Literaturanalyse beinhaltet die Auswertung relevanter Arbeiten zur Gestaltung der Montage und von Montagesystemen (vgl. Abb. 1-12). Zudem wurden ausgewählte Vorgehensweisen zur Konfiguration der Montage analysiert. Es werden die Montageplanungsprozesse von Bullinger, Eversheim, Balve/Rally, Peffekoven, Jonas und Chang im Detail untersucht.

Behandlung der Problemstellung in der Theorie						
	Autoren	Montagegestal-tungsprozess	Montageorientierte Produktgestaltung	Ablauf- u. Betriebs-mittelgestaltung	Gestaltungs-empfehlung für kleine Serien	Gestaltungs-/ Methodenempfeh-lung für KMU
Montage (-systeme)	Eversheim, 1989	x	x	x	x	-
	Eversheim, Witte, 1981	x	x	x	x	-
	Konold, Reger, 2003	x	x	x	-	-
	Lotter, Wien-dahl, 2006	x	x	x	-	-
	Ungeheuer, 1986	x	x	x	x	-
	Schimke, 1991	x	-	x	-	-
	Pahl, Beitz, 2006	x	x	x	-	-
	Ehrlenspiel, 2007	-	x	-	-	-
	Miese, 1973	x	x	-	x	-
	Westkämper, 2001	x	x	x	x	-
	Bullinger, 1986	x	x	x	-	-

Abbildung 1-12: Literaturauswertung zum Themengebiet Montagesysteme

Neben der Analyse der relevanten Literatur wurden 15 Fallstudien ausgewertet, um erfolgreiche Lösungen im Bereich der Montagegestaltung und der montageorientierten Produktgestaltung zu ermitteln sowie die Begründungszusammenhänge der Hypothesen zu erarbeiten. Die Fallstudien sind den Bereichen Montage- und Produktgestaltung zugeordnet und neben der Identifikation von Konzepten und Methoden können daraus relevante Zielgrößen im Bereich der Montagekonfiguration abgeleitet werden (vgl. Abb. 1-13).

Nr.	Fallstudieninhalte	Gestaltungsaspekt
1	Erarbeitung eines Montagekonzepts bei Verpackungsmaschinen	Montage
2	Optimierung des Materialflusses und Bestandsreduzierung bei einem Anlagenbauer	Montage
3	Entwicklung eines Segmentierungskonzeptes im Maschinenbau	Montage
4	Fertigungssegmentierung bei einem Elektronikhersteller	Montage
5	Fertigungssegmentierung - Nutzung der Potenziale in der Produktion	Montage
6	Reorganisation und Standardisierung der Abwicklungsprozesse in der Baumaschinenindustrie	Montage
7	Neugestaltung der Montage zur Erhöhung der Planungsgenauigkeit im Maschinenbau	Montage
8	Produktionsentstörung in der Montage	Montage
9	Reorganisation der Auftragsabwicklung in der Maschinenbaubranche	Montage
10	Montagesegmentierung bei einem mittelständischen Hersteller industrieller Großgetriebe	Montage
11	Wertstromanalyse der Montage	Montage
12	Redesign von Entwicklungsprozessen	Produkt
13	Parallelisierung Produktentwicklung und Service-Organisation in der Medizintechnik	Produkt
14	Produkt- und Prozessharmonisierung in der Automobilindustrie	Produkt
15	Reduzierung/ Begrenzung der äußeren und inneren Variantenvielfalt in der Kommunikationsbranche	Produkt

Abbildung 1-13: Analyse von 15 Fallstudien

Ausgehend von den bestehenden Vorgehensweisen zur Konfiguration der Kleinserienmontage wurden standardisierte Expertengespräche durchgeführt um aktuelle Trends und Herausforderungen zu ermitteln und die Ergebnisse der vorherigen Analysen zu konkretisieren. Dazu wurden 10 Experten der Unternehmen mit einem standardisierten Interviewleitfaden befragt. In Abbildung 1-14 sind die 10 Unternehmen unter Verwendung der Branche, der Unternehmensgröße sowie der Fertigungsart in der Montage charakterisiert. Fünf der Unternehmen sind KMU und alle Unternehmen weisen Einzel-, Kleinserien- oder Serienfertigung in der Montage auf. Im Rahmen der Expertengespräche wurden insbesondere die Anforderungen von KMU an einen Montagekonfigurationsprozess überprüft. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Gestaltung eines Konfigurationsprozesses für die Kleinserienmontage.

Unternehmen (Projektbegleitender Ausschuss)	Branche	Unternehmens-typ	Fertigungsart in der Montage
océ	Maschinenbau und IT	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung
Rexroth Bosch Group	Maschinenbau, Anlagenbau	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung
EADS	Elektrotechnik	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung
REHAU	Kunststoffverarbeitung, Automobilzulieferer	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
SIEMENS	Elektrotechnik, Medizintechnik	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serien-/Großserienfertigung
iwis wir bewegen die welt	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Einmalfertigung
Giesecke & Devrient	Maschinenbau, Sondermaschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
stryker LEIBINGER	Medizintechnik	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Möhlenhoff	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
GTM GROUP Specialist in System Development	Erneuerbare Energie	KMU	Serienfertigung

Abbildung 1-14: Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses

Zudem erfolgte mithilfe einer Fragebogenaktion eine Expertenbefragung, um die im Rahmen der vorhergehenden Analysen identifizierten Einflussgrößen auf die Montagekonfiguration zu konkretisieren und zu parametrisieren. Das Ergebnis sind konkrete Parameter, die dazu beitragen, den Unternehmen geeignete Gestaltungsansätze in Abhängigkeit von den spezifischen Unternehmensbedingungen zu empfehlen. Im Rahmen der Fragebogenaktion wurden die Fragebögen von 72 Unternehmen ausgewertet. Zur Konkretisierung und Überprüfung der im Rahmen des Projekts erzielten Ergebnisse wurden weitere 12 Expertengespräche durchgeführt. Dadurch konnten weitere praxisnahe, erfolgreiche Ansätze zur Montagegestaltung ermittelt werden. Zudem wurden am konkreten Unternehmensbeispiel die Gestaltungsempfehlungen und die Erfolgswirkungen überprüft. Die Charakterisierung der Unternehmen, in denen die Expertengespräche stattfanden, ist in Abbildung 1-15 zusammengefasst. Das Ergebnis der Analysen wurde in einem IT-Tool umgesetzt.

Expertengespräche (zusätzlich zu Expertengesprächen der Anforderungsanalyse)	Branche	Unternehmens-typ	Fertigungsart in der Montage
SIEPMANN	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
MODINE	Automobilzulieferer, Montagedienstleister	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
SENNHEISER	Elektrotechnik, Elektronik	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
RATIONAL	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
KNORR-BREMSE	Maschinenbau, Automobilzulieferer	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
AGCO	Fahrzeugbau	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Eissmann Group Automotive	Automobilzulieferer	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
roding	Fahrzeugbau	KMU	Einzelfertigung
SCHLEIFRING	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
AGFA HealthCare	Maschinenbau, Medizintechnik	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
stryker LEIBINGER	Medizintechnik	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Möhlenhoff	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung

Abbildung 1-15: Charakterisierung der Expertengespräche

Die Kombination aus theoretischen Analysen, Fallstudienanalyse, Expertengesprächen und der Unternehmensbefragung erlaubte die stufenweise Erarbeitung eines Montagekonfigurationsprozesses sowie der Ableitung differenzierter Gestaltungsempfehlungen. Es wurde ein Konfigurationsprozess entwickelt, der in Abhängigkeit von den Randbedingungen des Unternehmens die Abgabe von Gestaltungsempfehlungen zu den Bereichen Produkt- und Montagegestaltung ermöglicht. Je nach Ausprägung definierter Größen, wie beispielsweise der Teileanzahl und der Variantenvielfalt werden Gestaltungsansätze und Methoden ermittelt, die den Erfolg der Unternehmen steigern.

2 Theoretischer Bezugsrahmen

Der theoretische Bezugsrahmen beschreibt den Betrachtungsgegenstand aus Sicht der Kleinserienmontage, der montagegerechten Produktgestaltung, der Montageplanung und der Wirtschaftlichkeit von Montagekonzepten. Dabei werden die Anforderungen der Kleinserienmontage bei KMU in den Mittelpunkt gestellt. Unter Berücksichtigung theoretischer Ansätze und Vorgehensweisen wurde ein Modell entwickelt, das die Einflussgrößen und Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen der Montagekonfiguration beinhaltet. Dazu werden die Untersuchungsbereiche „mittelständische Unternehmen“ und „Kleinserienmontage“ analysiert und darauf aufbauend Einflussgrößen auf die Montagekonfiguration abgrenzt. In der Theorie vorliegende Vorgehensweisen zur Montageplanung werden diskutiert um daraus Anforderungen an einen Konfigurationsprozess für die Kleinserienmontage abzuleiten.

Dazu wird folgenden Fragen nachgegangen:

- Welche Vorgehensweisen zur Planung und Konfiguration der Montage liegen in der Literatur vor und welche der Vorgehensschritte eignen sich für die Konfiguration der Kleinserienmontage bei KMU?
- Welche Ansätze zur Produkt- und Montagegestaltung sind grundsätzlich dazu geeignet, den Erfolg der Kleinserienmontage bei KMU zu erhöhen?
- Welche der Methoden sind dazu geeignet, den Erfolg der Kleinserienmontage bei KMU zu erhöhen?
- Wie kann eine Bewertung des Erfolgs der Montagekonfiguration im Sinne einer Wirtschaftlichkeitsbewertung erfolgen? Welche Methoden können zur monetären Erfolgsbewertung eingesetzt werden?

2.1 Kleinserienmontage komplexer Produkte in mittelständischen Unternehmen

Die Abgrenzung von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) erfolgt in der Regel mithilfe von Unternehmensmerkmalen wie der Anzahl der

Beschäftigten, dem Jahresumsatz oder der Bilanzsumme. Die Abgrenzung im Sinne der quantitativen Mittelstandsdefinition ist in Abbildung 2-1 am Beispiel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie gezeigt. Die Unterscheidungskriterien von KMU der EU Kommission und des § 267 HGB sind nicht identisch. Die EU-Kommission definiert KMU als Unternehmen mit maximal 249 Mitarbeitern und geringerem Jahresumsatz als 50 Millionen Euro oder einer Bilanzsumme von höchstens 43 Millionen Euro (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2007, S. 9 f). Der § 267 HGB definiert Kapitalgesellschaften als klein, wenn zwei der drei nachfolgend genannten Eigenschaften zutreffen: Bilanzsumme kleiner als 10 Millionen Euro, Jahresumsatz kleiner als 10 Millionen Euro und Anzahl der Arbeitnehmer weniger als 49. Die qualitative Mittelstandsdefinition des IfM besagt, dass von einem mittelständischen oder Familienunternehmen gesprochen wird, wenn bis zu zwei natürliche Personen geschäftsführend tätig sind und sie zusammen oder ihre Familien mindestens 50 Prozent der Anteile am Unternehmen halten (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2007, S. 9 f). Für die deutsche Wirtschaft weisen KMU mit einem Anteil von 99,7% aller umsatzsteuerpflichtigen Unternehmen in Deutschland eine hohe Bedeutung auf. Der Anteil von KMU an der gesamten Nettowertschöpfung in Deutschland liegt bei 47% und insgesamt 20 Millionen Arbeitnehmer (70%) sind im Mittelstand beschäftigt (vgl. Institut für Mittelstandsforschung Bonn 2010). Außerdem beginnen etwa 1,5 Millionen der 1,7 Millionen deutschen Auszubildenden ihr Berufsleben in mittelständischen Unternehmen (vgl. Institut für Mittelstandsforschung Bonn 2010).

Unternehmensgröße	**Beschäftigte**	**Umsatz in Euro/Jahr**
Klein	bis 9	bis unter 1 Mill. Euro
Mittel	10 bis 499	1 bis unter 50 Mill. Euro
Mittelstand zusammen	**bis 499**	**bis unter 50 Mill. Euro**
Groß	500 und mehr	50 Mill. Euro und mehr

Abbildung 2-1: Quantitative Mittelstandsdefinition
(In Anlehnung an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2007))

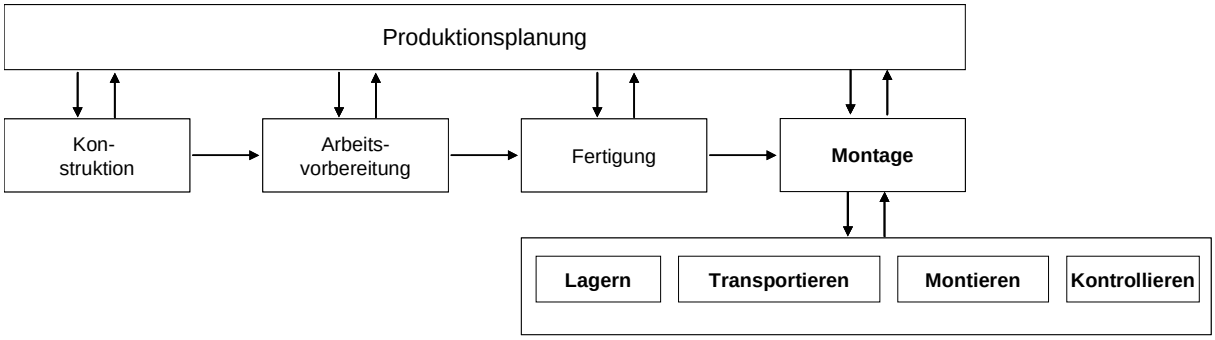


Abbildung 2-2: Montage als Teilsystem der Produktion
(In Anlehnung an Miese (1973), S. 13)

Innerhalb des Produktionsprozesses übernimmt die Montage die Aufgabe des Zusammenbauens von „technischen Gebilden höherer Komplexität aus solchen mit niedrigerer Komplexität“ (Miese 1975, S. 440) also des Zusammenfügens von Einzelteilen zu Baugruppen oder Produkten. Die Montage stellt die letzte Stufe der Produktentstehung dar (vgl. Abb. 2-2). Sie folgt auf die Teilefertigung, deren Aufgabe es ist, „die geometrische Gestalt, Beschaffenheit und Oberfläche des Grundmaterials zu verändern“ (Warnecke 1993, S. 38). Die beiden Bereiche unterscheiden sich in ihren Fertigungsverfahren. Während in der Teilefertigung Urform-, Umform-, Trenn- und Beschichtungsverfahren sowie Verfahren zur Änderung der Stoffeigenschaft Anwendung finden, ist die Hauptfunktion der Montage das Fügen (vgl. DIN 2003, S. 7). Dieses Verfahren wird in der der DIN 8580 als auf Dauer angelegtes Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von mehreren Werkstücken geometrisch bestimmter fester Form oder von eben solchen Werkstücken mit formlosem Stoff definiert und kann durch Zusammensetzen, Füllen, An- und Einpressen, Kleben sowie Fügen durch Urformen, Umformen, Schweißen und Löten geschehen (vgl. DIN 2003, S. 5).

In Abbildung 2-3 werden die den Hauptfunktionen zugeordneten Subfunktionen der Montage aufgezeigt. Das Handhaben wird als das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem abgrenzt (vgl. VDI 1990, S. 2). Das Handhaben hat demzufolge das Ziel, die Werkstücke in richtiger Lage und Menge an der Bearbeitungsstelle zu positionieren und nach der Bearbeitung weiterzuleiten.

Hauptfunktonen	Fügen	Handhaben	Justieren	Kontrollieren	Sonderfunktionen
Subfunktionen	Zusammenlegen Füllen An- und Einpressen Durch Urformen Durch Umformen	Magazinieren Weitergeben Ordnen Zuteilen Eingeben Positionierung Spannen	Einstellen Abstimmen Eichen Kalibrieren	Lehren Messen Anwesenheit feststellen Prüfen	Anpassen Markieren Reinigen Erwärmen

Abbildung 2-3: Haupt- und Subfunktionen der Montage
(In Anlehnung an Bullinger (1986), S. 275)

Die Teilfunktionen des Handhabens sind laut VDI-Richtlinie 2860 das Speichern, Mengen verändern, Bewegen, Sichern und Kontrollieren (vgl. VDI 1990, S. 4). Letztere ist für die Montage jedoch von vergleichbarer Bedeutung wie das Handhaben an sich, so dass es selbst als Hauptfunktion definiert wird. Auch von der VDI-Richtlinie abweichende Subfunktionen für Handhaben werden in der Literatur genannt (vgl. Bullinger 1986, S. 275). Beim Justieren wird in das Montageobjekt eingegriffen, indem die relative Lage der Fügeparameter verändert wird, um die geforderte Qualität und Funktion zu erreichen (vgl. Warnecke 1993, S. 41). Die Kontrolle soll Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Werten aufdecken und kann zu einem Justage-Vorgang führen. Das Fügeverfahren kann Sonderfunktionen wie Markieren oder Erwärmen erforderlich machen. Anpassen kann nötig werden, wenn die Montageobjekte ungenügend vorbereitet sind und stellt ursprünglich funktionell einen Arbeitsschritt der mechanischen Fertigung dar, der in der Montage vermieden werden sollte (vgl. Miese 1975, S. 440).

Die Unterteilung der Montageverfahren kann auf Basis der Häufigkeit der Wiederholung des Montagevorgangs erfolgen. Es wird hierbei betrachtet, wie viele Produkte der gleichen Art gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander produziert werden (vgl. Wöhe 1986, S. 407). Mithilfe des Kriteriums Wiederholhäufigkeit wird der jeweilige Fertigungstyp, häufig auch als Fertigungsart bezeichnet, bestimmt. Eversheim definiert Wiederholhäufigkeit als Anzahl der Fertigungslose einer Sachnummer pro Jahr (vgl. Eversheim 1989, S. 11).

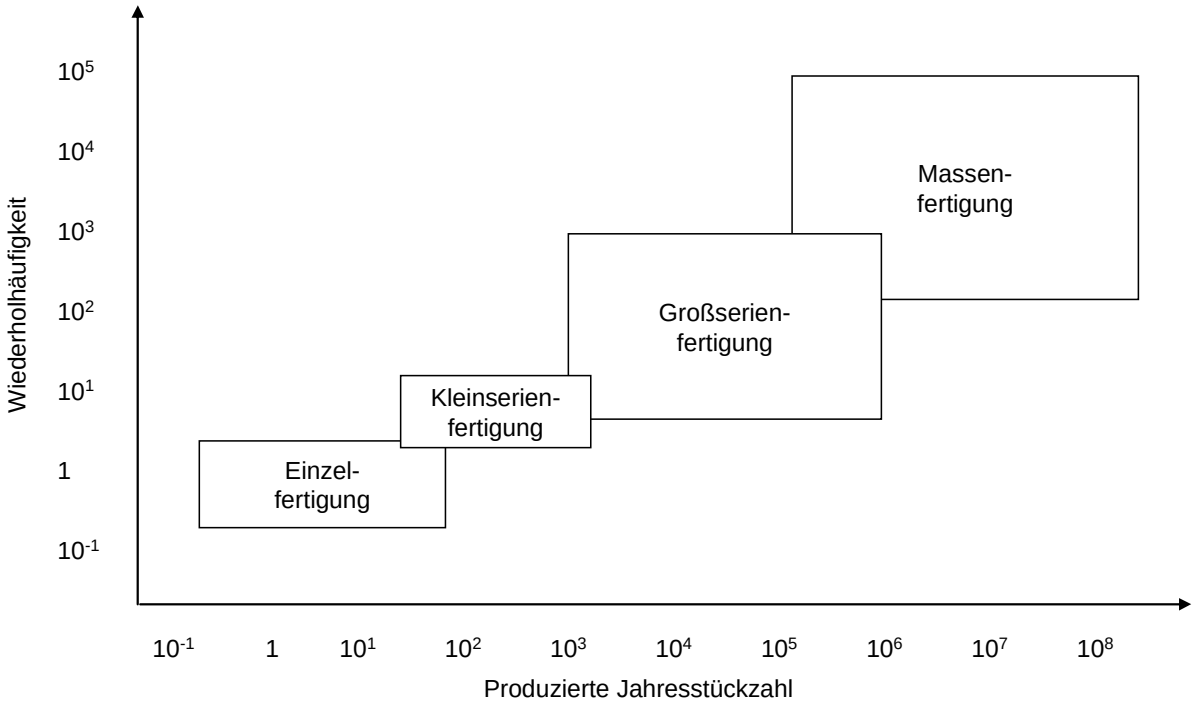


Abbildung 2-4: Fertigungstypen in Abhängigkeit von Wiederholhäufigkeit und produzierter Jahresstückzahl (Eversheim (1989), S. 11)

Unterschieden werden Einzel-, Serien-, Varianten- sowie Sorten- und Massenfertigung. Eine zweite Größe zur Unterscheidung von Fertigungstypen ist die im Jahr produzierte Stückzahl je Produkt. In Abbildung 2-4 sind die verschiedenen Fertigungstypen in Abhängigkeit von den Kriterien Wiederholhäufigkeit und produzierter Jahresstückzahl aufgezeigt. Bei der Einzelfertigung wird pro Fertigungsauftrag ein Exemplar eines Produktes hergestellt. Nach Fertigstellung muss der Produktionsapparat für die Produktion eines anderen Produktes umgerüstet werden. Betriebe mit Einzelfertigung weisen entweder eine große Produktpalette auf oder stellen Produkte individuell nach Kundenspezifikation her. Ein großer Kostenanteil entfällt daher auf Vorbereitungsaufgaben. Da es zu einer Wiederholung der Einzelfertigung kommen kann, wird diese in Einmal- und Wiederholfertigung unterteilt (vgl. Warnecke 1993, S. 3 f). Der Vorbereitungsaufwand der Wiederholfertigung ist gegenüber der Einmalfertigung verringert, da eine Auftragswiederholung in gewissen, wenn auch großen und unregelmäßig Abständen stattfindet. Im Gegensatz zur Einmalfertigung werden die technischen Unterlagen vollständig aufbereitet und gespeichert (vgl. Schomburg 1980, S. 70). Von der Einzelfertigung wird die Mehrfachfertigung

unterschieden, bei der „ein [Produkt] oder mehrere Produkte regelmäßig in vielen Einheiten gleichzeitig oder unmittelbar hintereinander“ hergestellt werden (vgl. Wöhe 1986, S. 413). Als Fertigungstypen mit dem Stückzahlcharakter Mehrfachfertigung werden Serien-, Sorten-, Varianten- und Massenfertigung unterschieden, von denen die erstere weiter in Klein-, Mittel- und Großserienfertigung unterteilt wird (vgl. Warnecke 1993, S. 4 und Eversheim 1989, S. 11). Adam beschreibt diese Typen folgendermaßen (vgl. Adam 1998, S. 21 ff): Sowohl bei der Serienfertigung als auch bei der Sortenfertigung werden unterschiedliche, aber verwandte Produkte gemeinsam gefertigt und es wird von einem Erzeugnis eine begrenzte Menge als zeitlich geschlossener Posten hergestellt. Bei der Serienfertigung werden die Anlagen im Falle technischer Veränderungen des Produkts umgerüstet. Bei der Sortenfertigung bestimmt die kostenoptimale Losgröße die Rüsthäufigkeit. Während unterschiedliche Sorten auf derselben Produktionsanlage hergestellt werden können, unterscheiden sich Produkte verschiedener Serien fertigungstechnisch, weshalb unterschiedliche Anlagen zur Herstellung einzusetzen sind. Die Variantenfertigung ähnelt der Einzelfertigung. Der Unterschied zu dieser ist, dass bestimmte Produktteile oder Prozessfolgen bei allen Varianten identisch sind und somit diese Gleichteile in größeren Stückzahlen mit weniger komplexen Produktionssystemen gefertigt werden können. Die Massenfertigung ist durch große Stückzahlen, häufige Prozesswiederholung und Fertigung für den anonymen Markt sowie geringe Flexibilität charakterisiert.

Die Abgrenzung der Einzel- und Kleinserienfertigung von Großserien- und Massenfertigung lässt sich mithilfe der Wiederholhäufigkeit identischer oder vom Fertigungsablauf gleicher Fertigungsobjekte sowie der produzierten Jahresstückzahl charakterisieren (vgl. Eversheim 1989, S. 11 und Schomburg 1980, S. 68 ff). Die Wiederholhäufigkeit wird bei der Einzel- und Kleinserienfertigung mit einem Spektrum von <1 bis 10 und die produzierte Jahresstückzahl mit <1 bis 10^3 angegeben (vgl. Eversheim 1989, S. 11). Büdenbender setzt die Wiederholhäufigkeit mit bis zu 12 Wiederholungen pro Jahr und die durchschnittliche Losgröße mit bis zu 50 Stück an, was einer produzierten Jahresstückzahl von maximal 600 entspricht (vgl. Büdenbender 1991, S. 45). Die Tatsache unterschiedlicher Grenzziehung lässt den fließenden Charakter der

Grenzen zwischen den einzelnen Fertigungstypen erkennen, der eine problemspezifische Definition erfordert. Das zweite Kriterium zur Abgrenzung der Einzel- und Kleinserienfertigung ist das Verhältnis der produktiven zu den unproduktiven Nutzungszeiten der Montagemittel. Bei der Einzel- und Kleinserienfertigung müssen Maschinen in ihrem Leistungsangebot auf die höchsten auftretenden Anforderungen ausgerichtet sein und weisen daher eine deutlich geringere leistungsmäßige Auslastung auf, als Maschinen der Massenfertigung, die für eine Aufgabe optimiert werden können. Die nötige Flexibilität in Bezug auf Produktspektrum, Stückzahlen oder Bearbeitungsverfahren erfordert die Vorhaltung von quantitativen und qualitativen Leistungsreserven, die zu niedrigen Auslastungsgraden führen (vgl. Eversheim 1989, S. 12). Die Auslastung der Anlagen ist bei Einzel- und Kleinserien im Vergleich zur Serien- und Massenfertigung niedrig. Neben-, Verteil- und Rüstzeiten machen bis zu 80 % der Fertigungsgesamtzeit aus, so dass der Hauptzeitanteil bei der Einzel- und Kleinserienfertigung bei nur 20 % liegt. Dieser liegt im Vergleich dazu bei 70 bis 85 % bei der Serien- und Massenfertigung.

Die von Brankamp und Reents genannten Zeitanteile, die die einzelnen Montagefunktionen für sich beanspruchen, weisen ebenfalls auf die unterschiedliche zeitliche Strukturierung und Effizienz der Fertigungstypen hin (vgl. Brankamp/Reents 1975, S. 427). Bei der Großserienmontage in Fließprinzip beträgt die Hauptfunktion Fügen mindestens 50 % der Gesamtzeit. Bei der Einzel- und Kleinserienmontage nehmen Nebenfunktionen oder auch indirekte Tätigkeiten wie Anpassarbeiten und Tätigkeiten zur Handhabung 40 bis 50 % der gesamten Montagezeit in Anspruch. Schimke und Hoeschen legen die Unterschiede zwischen einerseits Einzel- und Serienproduktion und andererseits Massenproduktion dar, indem sie die jeweiligen Ausprägungen von Kenngrößen der Montage gegenüberstellen. Zur Abgrenzung werden die Kenngrößen Teilevielfalt, Teilegeometrie, Teilewert, Arbeitsunterweisung, Abhängigkeit von Kundenwünschen, Losgröße, Materialfluss und Materialbereitstellung verwendet. Die Ausprägungen der Kenngrößen für die Einzel- und Kleinserienfertigung sowie der Massenfertigung sind in Abbildung 2-5 zusammengestellt. Der ständige Wechsel der Produkte und somit der Montageaufgabe erlaubt keinen ausgeprägten Einsatz von Montageautomaten oder Vollautomatisierung.

Montagekenngrößen	Einzel- und Kleinserienfertigung	Massenfertigung
Teilevielfalt	**hoch**	gering
Teilegeometrie	**verschieden**	konstant
Teilewert	**mittel - hoch**	gering - mittel
Arbeitsunterweisung	**grob**	detailliert
Abhängigkeit von Kundenwünschen	**hoch**	gering - mittel
Losgröße	**klein**	groß
Materialfluss	**diskontinuierlich**	kontinuierlich
Materialbereitstellung	**auftragsabhängig**	bedarfsbezogen

Abbildung 2-5: Abgrenzung der Einzel- und Kleinserienfertigung von der Massenfertigung mithilfe ausgewählter Kenngrößen
(In Anlehnung an Schimke/Hoeschen (1977), S. 136 ff)

Es wird deutlich, dass die hohe Komplexität der Einzel- und Kleinserienmontage aus einer hohen Teilevielfalt, unterschiedlichen Teilegeometrien, einem hohen Einfluss von Kundenwünschen auf die Montage und einer kleinen Losgröße resultiert. Schimke charakterisiert die Einzel- und Kleinserienmontage zudem anhand einer Merkmalskette, die kausal auf dem namensgebenden Merkmal der geringen Stückzahl aufbaut (vgl. Schimke 1991, S. 34). In Abbildung 2-6 ist die Merkmalskette der Einzel- und Kleinserienmontage bildlich veranschaulicht. Die Merkmalskette ergänzt die Merkmalsauflistung zur Abgrenzung der Einzel- und Kleinserienfertigung und zeigt auf, woraus sich die Merkmale ergeben, die in der Montageplanung und während des Betriebs zu berücksichtigen sind. Das Merkmal „produkt- und funktionsbezogene Qualitätsmerkmale“ wird damit erläutert, dass aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des Termindrucks die Qualitätsmerkmale nicht im Detail festgelegt werden (vgl. Schimke 1991, S. 35). Deshalb ist der Personalaufwand in der Einzel- und Kleinserienmontage in der Regel deutlich höher, als in der Massenmontage. Einerseits ist der Einsatz höher, andererseits erfordert die Bandbreite an Montagetätigkeiten qualifiziertes Personal.

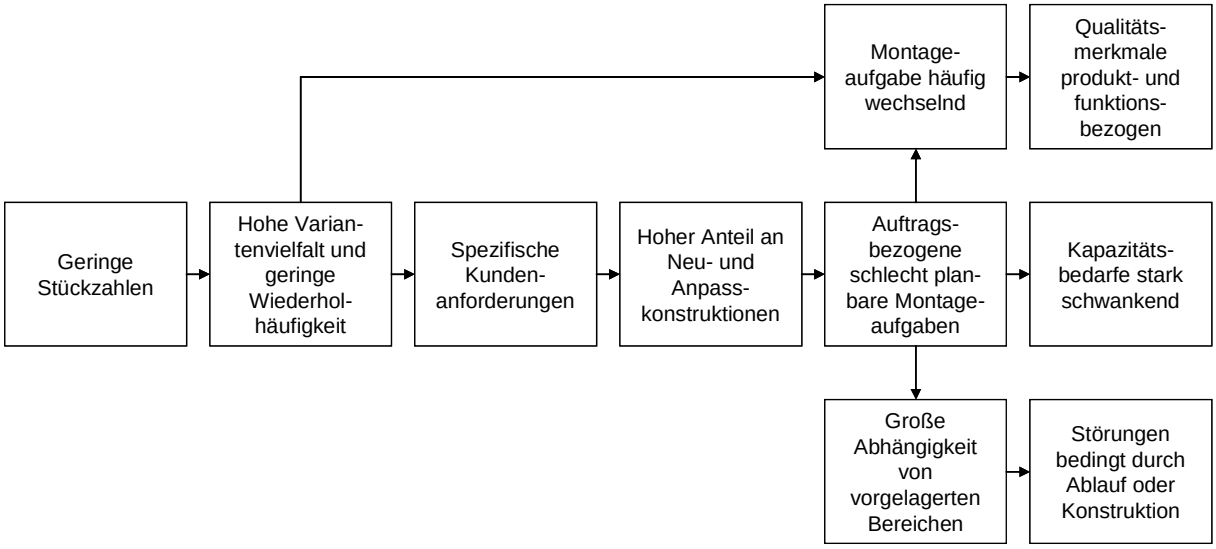


Abbildung 2-6: Merkmalskette der Einzel- und Kleinserienmontage
(In Anlehnung an Schimke (1991), S. 34)

Als ein typisches Beispiel einer Einzel- und Kleinserienproduktion greift Ungeheuer einen Werkzeugmaschinenhersteller heraus. Er beschreibt dessen Schwachstellen in der Montage, die ihre Ursachen zum großen Teil in einer über längere Zeit gewachsenen Struktur haben (vgl. Ungeheuer 1986, S. 38 f). Diese erklären die genannten schlechten Auslastungswerte und die hohen Anteile ungenutzter Zeiten der Kleinserienmontage. So sind in diesem Beispiel die Betriebsmittel schlecht koordiniert und ihre Kapazitäten nicht angepasst, was zu ungewollten Arbeitspausen und ungenutzten Betriebsmitteln führt. Die Materialbereitstellung erfolgt durch die Monteure selbst, wofür sie ihre Arbeit unterbrechen müssen und wodurch sie Zeit verlieren. Die Dominanz der Organisationsform Baustellenmontage äußert sich in schlechtem Materialfluss und schlechter Raumausnutzung. Durch den bei der Baustellenmontage möglichen gleichzeitigen Einsatz mehrerer Monteure am selben Objekt kommt es zu Behinderungen und in der Folge zu geringer Produktivität. Die Probleme der Einzel- und Kleinserienmontage sind maßgeblich organisatorischer Natur. Daher liegt das Hauptaugenmerk bei der Einzel- und Kleinserienfertigung, nicht auf der Leistungssteigerung durch Technik sondern auf der Reduktion der unproduktiven Zeitanteile (vgl. Eversheim 1989, S. 13 und 205). Hierzu werden die relevanten Auftragsabwicklungsstrukturen mithilfe der Erzeugnis-, Dispositions- und Fertigungsprozessmerkmale beschrieben (vgl. Büdenbender (1991), S. 32 ff).

Merkmal-gruppe	Auftragsabwicklungsmerkmale	Merkmalsausprägungen			
Erzeugnis-merkmale	Erzeugnisspektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
	Erzeugnisstruktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	Mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Geringteilige Erzeugnisse	
Fertigungsprozessmerkmale	Fertigungstyp	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
	Ablauf in der Teilefertigung	Werkstattfertigung	Inselfertigung	Reihenfertigung	Fließfertigung
	Ablauf in der Montage	Baustellenmontage	Gruppenmontage	Reihenmontage	Fließmontage
	Fertigungsstruktur	Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad	Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad	Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad	
	Kundenänderungs-einflüsse während der Fertigung	Änderungseinflüsse mit größerem Umfang	Änderungseinflüsse gelegentlich	Änderungseinflüsse unbedeutend	

Abbildung 2-7: Kennzeichen der Auftragsabwicklung bei Einzel- und Kleinserienmontage (In Anlehnung an Büdenbender 1991, S. 51 und 55 f)

Die Besonderheiten der Auftragsabwicklungsstrukturen mit Einzel- und Kleinserienmontage resultieren aus kundenspezifischen Varianten und besitzen einfache bis komplexe Strukturen. In der Montage werden die Organisationsformen Baustellen-, Gruppen- und Reihenmontage angewendet. Die Fertigung ist mittel- bis hochgradig strukturiert, was auf die teilweise komplexen Produktstrukturen zurückzuführen ist. Die Kunden- und Auftragsbezogenheit dieser Auftragsabwicklungstypen hat zur Folge, dass Produkte oft nach Beginn der Fertigung aufgrund von Kundenwünschen abgeändert werden (vgl. Abb. 2-7).

Die Entwicklung des Produkts erfolgt, ausgehend vom Kundenwunsch oder einer Produktidee, in der Forschung und Entwicklung. Nach Hesse ist die Voraussetzung für eine effektive Montage eine Produktgestaltung, die die Erfordernisse der Handhabung und des Fügens erfüllt (vgl. Hesse 2006, S. 11). Zur erfolgreichen Montage in Einzel- und Kleinserienfertigung sind demzufolge Konzepte zur montageorientierten Produktgestaltung von hoher Bedeutung (vgl. Ungeheuer 1986, S. 17).

Um die Komplexität der Montage zu charakterisieren, wird vorgeschlagen, diese anhand der Kennzahlen „Anzahl der einbezogenen Einheiten und Bezie-

hungen“ sowie „Variabilität der Einheiten“ festzumachen. Die Bestimmungsfaktoren für den Grad der Komplexität eines Unternehmens sind demzufolge die Variabilität, die Einheiten, die Beziehungen und die Aktionen, jeweils unter Berücksichtigung der zugrunde liegenden Anzahl (vgl. Wildemann 1998a, S. 48 ff). Adam definiert den Grad der Unternehmenskomplexität in Abhängigkeit von drei Messgrößen (vgl. Adam 1998, S. 30). Die erste Bestimmungsgröße der Komplexität ist die Anzahl der Produkte, Teile, Zulieferer und/oder Kunden des Unternehmens. Eine zweite Größe der Unternehmenskomplexität ist die Anzahl der Beziehungen und Aktionen zwischen den genannten Einheiten. Die dritte Kennzahl ist die Häufigkeit von Veränderungen der Beziehungen oder Aktionen. Die Operationalisierung des Komplexitätsbegriffs erfolgt also anhand mehrerer Komplexitätsfaktoren, die sich in die vier Bereiche „Vielzahl“, „Vielfalt“, „Vieldeutigkeit“ und „Veränderlichkeit“ unterteilen lassen (vgl. Reiss 1993, S. 57). Die Vieldeutigkeit bezeichnet in diesem Kontext die Schwierigkeit, sich wegen der Risiken und Unsicherheiten ein klares Bild vom betroffenen System machen zu können (vgl. Schuh 2005, S. 11). Die Komplexität eines Montageobjekts wird demnach durch die Anzahl, die Verschiedenheit und den Grad der Interaktion seiner Produktbestandteile definiert (vgl. Werner 1997, S. 71). Je höher die Anzahl der Bauteile, deren Verschiedenartigkeit und der Grad der Interaktion zwischen den Teilen sind, desto höher ist die Montageobjektkomplexität. Ein komplexes Montageobjekt setzt sich somit aus einer Vielzahl unterschiedlicher Bauteile zusammen und ist technisch anspruchsvoll (vgl. Beutin 2000, S. 35). Je höher die Anzahl der Varianten ist und je mehr mögliche Systemarchitekturen und Designalternativen für die einzelnen Bauteile vorliegen, desto höher ist die Produktprogrammkomplexität (Vgl. Kohler (2008), S. 55).

Die Schwierigkeiten der mittelständischen Unternehmen resultieren insbesondere daraus, dass in KMU häufig in kleinen Serien montiert wird. Die mittelständischen Unternehmen sehen sich demzufolge den Herausforderungen, die eine hohe Teilevielfalt, eine hohe Abhängigkeit von Kundenwünschen, eine geringe Losgröße und eine hohe Schwankung von Aufträgen in sich bergen, gegenüber. Für die Anforderungen der Kleinserienmontage liegen kaum IT-gestützte Vorgehensweisen zur Montageplanung vor. Zudem sind bestehende

Planungskonzepte häufig auf die Bedürfnisse von Unternehmen mit Serienfertigung ausgerichtet. Standardabläufe zur zielgerichteten Gestaltung der Kleinserienmontage bei KMU sind nur ungenügend ausgearbeitet.

Einflussgrößen auf die Kleinserienmontage komplexer Produkte	
Kleinserienmontage / KMU	**Komplexes Produkt**
• Grad der Auftragsschwankungen • Losgröße • Kontinuierlichkeit des Materialflusses • Art der Materialbereitstellung • Grad der Schwankung von Kundenwünschen • Montageorganisationsform	• Anzahl der Bauteile • Anzahl der Varianten • Komplexität der Bauteilschnittstellen • Grad der Verschiedenartigkeit von Bauteilen • Grad der Interaktion zwischen den Bauteilen • Anzahl der möglichen Designalternativen

Abbildung 2-8: Aus den Kennzeichen der Kleinserienmontage und komplexer Produkte resultierende Einflussgrößen

Aus den theoretischen Analysen der Bereiche Kleinserienmontage und komplexe Produkte können jedoch relevante Einflussgrößen auf die Gestaltung der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei KMU abgeleitet werden. In Abbildung 2-9 sind die Einflussgrößen, die aus der theoretischen Betrachtung extrahiert werden konnten, zusammenfassend dargestellt. Neben den Einflussgrößen, die aus den Bereichen Kleinserienmontage und Produktkomplexität resultieren, werden nachfolgend auf Basis der Analyse bestehender Vorgehensweisen zur Montageplanung weitere Anforderungen und Einflussgrößen der Kleinserienmontage erarbeitet.

2.2 Montageplanung

Die Montageplanung besteht aus mehreren Arbeitsschritten, zwischen denen ein iteratives Vor- oder Zurückspringen nötig sein kann. Sie beginnt mit der Analyse von Produkt und Randbedingungen, deren Ergebnis eine Liste der Anforderungen an das Montagesystem darstellt. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wird durch die Erstellung des Vorranggraphen ein grober

Montageablauf skizziert, der die Fügereihenfolge festlegt. Im nächsten Schritt wird daraus ein grober Montagesystementwurf entwickelt, der aus der Bestimmung des Montageprinzips und des Groblayouts besteht. In der Folge wird der Montageablauf detailliert ausgearbeitet, indem ein Ablaufplan erstellt wird und die notwendigen Füge- und Handhabungsprozesse festgelegt werden. Danach gilt es, den Grobentwurf des Montagesystems zu verfeinern. Dazu wird das Feinlayout des Montagesystems erstellt, Betriebsmittel ausgewählt und konfiguriert. Bevor das Montagesystem realisiert werden kann, müssen Anzahl, Beschaffenheit, Arbeitsinhalt der Arbeitsplätze und der Stationen sowie Steuerung und Dokumentation ausgearbeitet werden. In allen Phasen sind dabei kontinuierlich die Lösungen zu bewerten und auszuwählen. Die Gestaltung des Arbeitsablaufs erfolgt in zwei Schritten unterschiedlichen Detaillierungsgrades, deren Ergebnisse jeweils in den Systementwurf des betreffenden Detaillierungsgrades einfließen (vgl. z. B. Grunwald 2001, S. 33).

Aus den in der Literatur vorliegenden Vorgehensweisen zur Montageplanung werden die Montageplanungsprozesse von Bullinger, Eversheim, Balve/Rally, Peffekoven, Jonas und Chang vorgestellt.

Vorgehensweise (Autor)	**Zuordnung**	**Inhaltliche Schwerpunkte der Vorgehensweise**
Peffekoven, 1982	IT-Tool, Prozess, Kleinserien-montage	IT-Tool-gestützte Vorgehensweise mit folgenden Schwerpunkten: Analyse der Montageaufgabe und Ableitung der Struktur des Montageablaufs.
Bullinger, 1986	Projekt, Prozess	Ablauf basiert auf Projektstruktur und bezieht Projektorganisation mit ein. Montageplanung erfolgt prozessual.
Eversheim, 1989	Prozess, manuelle Montage	Sequenzielle Montageplanung ausgehend von Produktanalyse mit folgenden Schwerpunkten: Montagestruktur, Montageablauf und Betriebsmittelbedarf
Chang, 1999	Methoden, Kleinserien-montage	Vorgehensweise, bei der den verschiedenen Montagearten und Montageabläufen mögliche Planungs- und Steuerungssysteme zugeordnet werden.
Jonas, 2000	IT-Tool, Prozess	Prozessorientierte, rechnergestützte Vorgehensweise zur Planung von Montageanlagen.
Balve, Rally, 2001	Zielorientierung, Projekt	Ganzheitliche, projektorientierte Vorgehensweise, die auf Zielsystem beruht und die Blickwinkel des Marktes, der Kosten und der Logistik berücksichtigt.

Abbildung 2-9: Inhaltsspezifische Zuordnung der Vorgehensweisen zur Montageplanung

Die Auswahl der Autoren erfolgte aufgrund ihrer unterschiedlichen Herangehensweise und der verschiedenen Schwerpunkte bei der Montageplanung. Je nach Autor wird dabei der Fokus entweder auf die prozessuale oder projektorientierten Komponente bei der Montageplanung gelegt. Zudem werden zwei Planungsprozesse, deren Abläufe IT-unterstützt ausgestaltet wurden, vorgestellt. Die Vorgehensweise nach Chang beinhaltet zudem eine spezifische Methodenzuordnung je nach Fertigungsart in der Montage. Die Zuordnung der Vorgehensweisen zu den verschiedenen inhaltlichen Schwerpunkten ist in Abbildung 2-10 zusammenfassend dargestellt.

Montageplanungsprozess nach Bullinger

Die Planung eines Montagesystems erfolgt nach Bullinger in einem siebenstufigen an einer Projektstruktur orientierten Ablauf, der sich aus den Schritten Projektorganisation, Konzeption, Ablaufplanung, Montagesystementwurf, Ausarbeitung, Realisierung und Betrieb zusammensetzt (vgl. Bullinger 1986, S.24 ff). In Abbildung 2-11 ist der Montageplanungsprozess visualisiert.

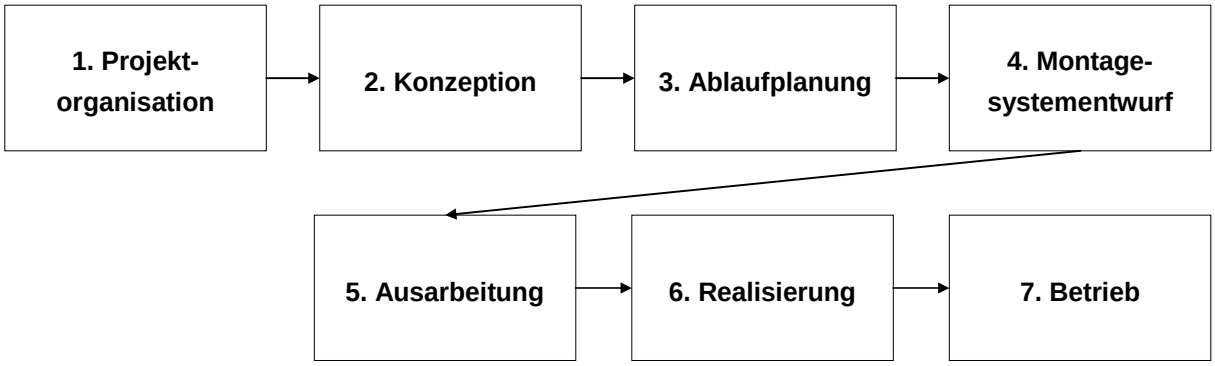


Abbildung 2-10: Montageplanungsprozess
(In Anlehnung an Bullinger (1986), S. 13)

1. Projektorganisation

Um einen komplikationsfreien Projektablauf sicherzustellen, ist die Ausgestaltung einer fundierten Projektorganisation zu Beginn der Montageplanung relevant. Aus diesem Grund wird der Montageplanungsprozess mit der Definition eines umfassenden Projektmanagements eingeleitet. Der Zusammensetzung des Projektteams kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu. Für eine

integrierte Projektplanung und die Berücksichtigung aller wesentlichen Einflussgrößen auf die Montageplanung müssen Vertreter aller beteiligten Abteilungen in dem Team eingebunden werden.

2. Konzeption

In der Konzeptionsphase wird unter Berücksichtigung der Kosten, Termine und des Produktspektrums, der Planungsauftrag erstellt. Wenn der Planungsauftrag erstellt ist, wird ein Zielsystem konzipiert. In diesem werden Probleme und Anforderungen erhoben, Zielkriterien abgeleitet und anschließend gewichtet, um die Prioritäten der Ziele festzulegen. Sind die Planungsziele bekannt, werden, unter deren Berücksichtigung, mehrere Prinziplösungen entworfen, welche verschiedene Montagesystemalternativen abbilden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den Montagekosten. Um diese möglichst gering zu halten, werden laufend Kostenkalkulationen durchgeführt, die immer präziser werden, je weiter der Planungsprozess voranschreitet.

3. Ablaufplanung

Anschließend werden im Rahmen der Ablaufplanung Teilaufgaben der Montage festgelegt und unter Berücksichtigung der Randbedingungen Technik, Personal und Material den Arbeitsplätzen zugeordnet. Im Anschluss daran wird die Montageablaufstruktur entwickelt. Dabei werden die Freiheitsgrade der einzelnen Baugruppen, also frühester und spätester Einbauzeitpunkt, sowie die Abhängigkeit von anderen Teilgruppen berücksichtigt. Die gängigste Methode dazu ist der Vorranggraph. Bei einem Vorranggraphen wird das gedanklich fertige Produkt schrittweise zerlegt (vgl. Richter 2006, S. 101). Darauf aufbauend werden Möglichkeiten der Automatisierung, der Parallelisierung von Arbeitsschritten und der Mengenteilung überprüft. Am Ende dieses Planungsschrittes steht fest, welche Teilarbeiten in welchem Montagesystemabschnitt montiert werden und ob diese Arbeiten automatisch oder manuell erfolgen. In der folgenden Kapazitätsplanung wird der Kapazitätsbedarf in Kapazitätsbedarfsteile aufgespalten und dem Kapazitätsbedarf der einzelnen Arbeitsplätze zugeordnet, um eine möglichst hohe Systemauslastung zu erreichen

4. Montagesystementwurf

Wenn die Montageablaufstrukturen erstellt sind, beginnt die Entwicklung des Montagesystems. Idealerweise sollten mehrere Alternativen entwickelt werden, um später die geeignete Variante auswählen zu können. Zu Beginn der Entwicklung muss die technische Realisierbarkeit der zuvor entworfenen Aufteilung zwischen vollautomatischer und manueller Montage überprüft werden. Um eine optimale Lösung zu erzielen ist eine enge Kooperation zwischen dem Montageplaner und der Konstruktion notwendig. Auch die Frage nach dem Einsatz von Verkettungsmittel, welche einzelne Arbeitsstationen miteinander verbinden, wird an dieser Stelle geklärt. Im Anschluss daran wird das Organisationsprinzip der Montage festgelegt. Dabei wird zwischen der Verrichtungszentralisation, der Objektzentralisation und den gemischten Strukturen unterschieden. Anschließend werden alle Daten in einer Prinzipanordnung, also einem Ideallayout, dargestellt. Die Ideallayoutplanung erfolgt, indem die Anordnungen der Bereiche ohne die Beachtung von Einflüssen der realen Bedingungen geschehen. Durch diese Vereinfachung reduziert sich der Planungsaufwand erheblich. Anschließend wird die Materialbereitstellungsplanung in die Prinzipanordnungen integriert. Dann werden die Prinzipanordnungen in Layouts überführt, welche Infrastruktur, Betriebsbereich, Materialfluss und Gebäudetechnik berücksichtigen. Besonderes Augenmerk muss dabei auf die monetär nicht quantifizierbaren Kriterien gelegt werden, da diese zunächst durch geeignete Hilfsmittel, wie zum Beispiel eine Nutzwertanalyse, quantifizierbar gemacht werden müssen. Im Rahmen der Feinplanung wird dann in die ausgewählte Alternative das geplante Produktionsprogramm eingeplant.

5. Ausarbeitung

Im Anschluss an die Gestaltung des Arbeitssystems, sind im Rahmen der Ausgestaltung sowohl die manuellen als auch die automatischen Montagestationen, also die einzelnen Arbeitsplätze, zu erarbeiten. Auch hier sollte darauf geachtet werden, dass mehrere Alternativen geprüft werden. Spätestens an dieser Stelle sollten bei den manuellen Montagestationen auch die Mitarbeiter mit einbezogen werden, da eine Akzeptanz der ausgewählten Alternative, die

Wirtschaftlichkeit der einzelnen Station enorm steigern kann. Die weitere Entwicklung der Arbeitsplätze umfasst eine organisatorische, technische und Layoutgestaltung sowie eine abschließende Bewertung der Alternativen.

6. Realisierung

In der Realisierungsphase werden die zuvor erstellten Konzepte verwirklicht. Zunächst gilt es, benötigte Betriebsmittel zu planen und die Anforderungen, denen sie standhalten müssen, zu identifizieren. Zudem erfolgt die Personaleinsatzplanung. Deren Aufgabe besteht darin, die Fähigkeiten der einzelnen Mitarbeiter zu analysieren und eine personelle Über- und Unterdeckung zu vermeiden. Sind ausreichend qualifizierte Mitarbeiter vorhanden, werden diese nach einem Vergleich des Fähigkeitsprofils mit dem Anforderungsprofil des Arbeitsplatzes auf die einzelnen Stationen zugeordnet. Abschließend erfolgt der Montagesystemaufbau und -anlauf. Hier werden die Betriebsmittel gemäß dem Layout positioniert, Material und Informationen bereitgestellt und das Personal unterwiesen.

7. Betrieb

Im laufenden Betrieb müssen sowohl der Prozess als auch die Anlagen ständig überwacht werden. Im Rahmen des Controllings sollte daher ein aussagekräftiges Kennzahlensystem entwickelt werden, anhand dessen sich die Leistungsfähigkeit des Systems messen lässt. Darüber hinaus sollte das System einem ständigen Rationalisierungs- und Optimierungsprozess unterliegen, um es an die sich ständig wechselnden Gegebenheiten anzupassen.

Montageplanungsprozess nach Eversheim

Eversheim sieht den Aufbau des Montageplanungsprozesses abhängig von der Art des zu planenden Montagesystems (vgl. Eversheim 1989, S.140 ff). So müssen bei manuellen Montagesystemen andere Planungsschritte vollzogen werden, als bei automatisierten Systemen. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Anzahl der zu montierenden Produkte und deren Variantenvielfalt. Während sich für hohe Stückzahlen und wenig Varianten automatisierte Systeme anbieten, werden für kleine Stückzahlen mit vielen Varianten ma-

nuelle Montagesysteme bevorzugt, da nur sie die nötige Flexibilität besitzen, um die hohen Anforderungen einer sich ständig wechselnden Montageaufgabe zu erfüllen. Daher werden lediglich universell einsetzbare Betriebsmittel und vereinzelt auch mechanisierte Komponenten verwendet. Wie in Abbildung 2-11 aufgezeigt wird, basiert die Montageplanung auf einer detaillierten Produkt- und Potentialanalyse. Unter produktbezogenen Daten sind ganz allgemein Stammdaten zu verstehen, welche die Produktstruktur beschreiben. Dazu gehört der benötigte Kapazitätsbedarf, die logistischen Abhängigkeiten der Montagetätigkeiten, Art und Anzahl der Einzelteile und das jeweilige Gewicht der Bauteile. Anhand dieser Daten wird zunächst die Montageaufgabe beschrieben. Dabei muss zudem das Produktionsprogramm berücksichtigt werden, welches einen weiteren, wichtigen Parameter zur Beschreibung darstellt. Im Anschluss daran werden die Montagevorgänge in ihrer Reihenfolge festgelegt. Allerdings werden zu diesem Zeitpunkt lediglich die technischen Abhängigkeiten berücksichtigt. Die Potentialanalyse ist geprägt von unternehmerischen Randbedingungen.

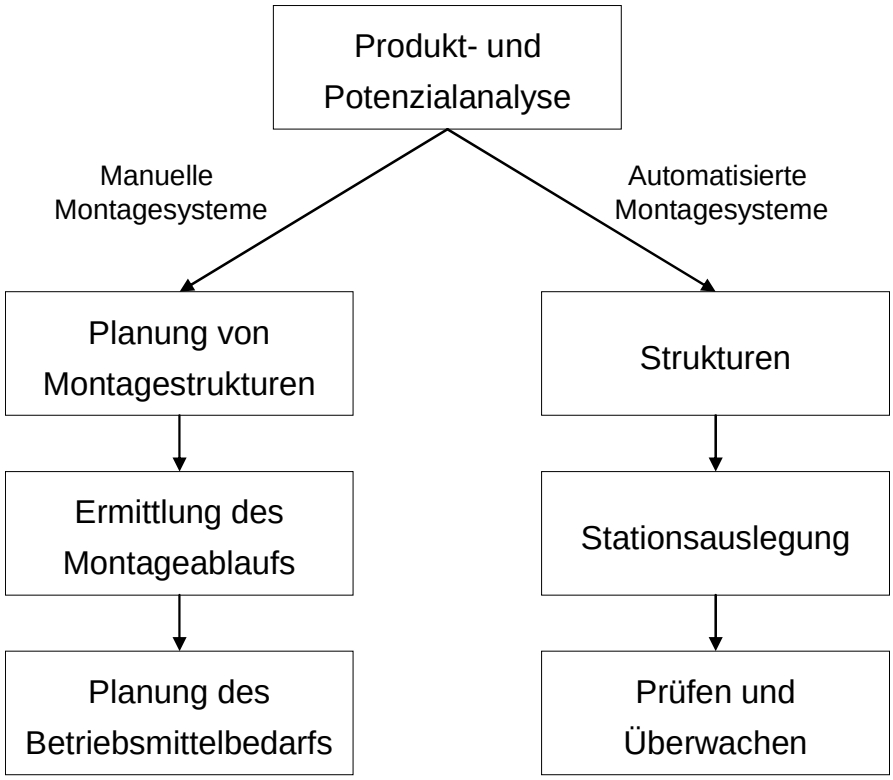


Abbildung 2-11: Montageplanungsprozess nach Eversheim (In Anlehnung an Eversheim (1989), S. 140 f)

Dazu gehören vor allem der zur Verfügung stehende Flächenbedarf, festgelegte Termine, finanzielle Restriktionen und vorhandene Betriebsorganisationen. Wenn die Montageaufgabe beschrieben, die Montagefamilien definiert und die Zielvorgaben festgelegt sind, erfolgt die Montageplanung.

Die Planung von Montagestrukturen wird damit begonnen, dass der grobe Strukturtyp, nach dem die Montage organisiert werden soll, festgelegt wird. Für die Einzel- und Kleinserienmontage haben sich die produktorientierte und die materialflussorientierte Struktur bewährt, da in diesen ein breites Produktspektrum mit geringen Stückzahlen am besten organisiert werden kann. Die verschiedenen zu realisierenden Arbeitsschritte können in Vormontage, Hauptmontage und Nachmontage unterteilt werden. Der Vormontage sind vorbereitende Tätigkeiten zuzuordnen, welche notwendig sind, um den eigentlichen Zusammenbau in der Hauptmontage zu ermöglichen. Die Nachmontage besteht in der Regel aus Prüfvorgängen und aus Reparatur- und Korrekturarbeiten. Eine weitere wichtige Aufgabe der Montagestrukturplanung ist die Festlegung der Organisationsform. Grundsätzlich wird zwischen folgenden vier verschieden Prinzipien unterschieden: Baustellenmontage, Gruppenmontage, Reihenmontage und Taktstraßenmontage.

Inhalt der Montageablaufplanung ist es, unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten der einzelnen Vorgänge und der zuvor festgelegten Organisationsform, die nötige Anzahl Montagestationen sowie deren Aufgabeninhalte und -umfänge zu ermitteln. Im Anschluss daran wird über die Art der Verkettungsglieder, welche einzelne Stationen miteinander verbinden und somit einen durchgängigen Materialfluss ermöglichen, entschieden. Im Rahmen der Ablaufplanung müssen darüber hinaus noch diverse Montagerestriktionen berücksichtigt werden. Unabhängig davon gilt es, die allgemeinen Zielsetzungen des Unternehmens mit einzubeziehen. Dazu gehört zum Beispiel die Forderung nach kürzeren Durchlaufzeiten oder eine Erhöhung der Flexibilität. Als Ergebnis soll die fertige Auslegung des Montagesystems stehen, mit der benötigten Anzahl an Stationen, den Arbeitsplätzen, Aufgabeninhalte und das Flexibilitätsverhalten. Die Ablaufplanung beinhaltet also die Verteilung der erforderlichen Aufgaben auf die einzelnen Stationen. Anschließend kann, durch die

Bestimmung der stationsspezifischen Kapazität, die erforderliche Anzahl an Arbeitsplätzen ermittelt werden. Eversheim betont in diesem Zusammenhang die Wichtigkeit eines iterativen Planungsablaufs. Die Personalplanung darf nicht als eine eigenständige Planungslinie verstanden werden. Nur durch die Integration in die Ablaufplanung lassen sich optimale Ergebnisse erzielen. Unter Berücksichtigung aller Restriktionen wird nun geprüft, ob sich die Montagevorgänge in das Kapazitätsprofil der betreffenden Station fügen. Die Vorgänge werden deshalb so früh dieser Prüfung unterzogen, da sich in diesem Planungsstadium eine Optimierung der stationsspezifischen Auslastung relativ einfach umsetzen lässt. Abschließend müssen für die optimale Auslegung des Systems die möglichen Störgrößen ermittelt und analysiert werden. Gegebenenfalls müssen ausgleichende Maßnahmen, wie zum Beispiel Materialpuffer, mit in das System integriert werden.

Um einen optimalen Auslastungsgrad des Systems zu gewährleisten, ist die Anschaffung geeigneter Betriebsmittel Voraussetzung. Ausgangspunkt sind auch hier die Montageaufgaben an den einzelnen Stationen. Es folgt eine Auflistung aller benötigten Montagemittel. Dazu gehören nicht nur Maschinen, sondern auch Werkzeuge und Haltevorrichtungen. Durch die Auflistung können eventuell auftretende Überschneidungen identifiziert und in eine Standardisierung überführt werden. Auch die genaue Anzahl ausgewählter Maschinen kann über die Liste ermittelt werden. Gerade in der Einzel- und Kleinserienmontage, in der viele verschiedene Arbeitsschritte anfallen, stellt eine Mechanisierung eine Entlastung für das Montagepersonal dar. Abschließend werden noch geeignete Lager- und Transportmittel ausgewählt. Die Lagersysteme werden im Wesentlichen durch die Geometrie des zu lagernden Produktes oder Teilproduktes bestimmt. Bei den Transportmitteln ist die Einsatzhäufigkeit ausschlaggebend. Am Ende dieser Planungsphase sollte das fertige Konzept vorliegen, so dass mit der Anschaffung der Betriebsmittel und dem Anlaufen des Betriebes die planenden Phasen verlassen werden können.

Montageplanungsprozess nach Balve/Rally

Nach Balve/Rally ist ein flexibles und reaktionsschnelles Montagesystem von

hoher Bedeutung, da nur dadurch die Planungsungenauigkeiten und Schwankungen am Markt kompensiert werden können (vgl. Balve/Rally 2001, S.11 ff). Diese Eigenschaften müssen von Anfang an bei der Planung des Montagesystems mit berücksichtigt werden. Dafür muss man sich jedoch von dem traditionellen Planungsprozess, welcher sich im wesentliche auf die technische Seite des Systems konzentriert, lösen und einen komplexen, dafür aber ganzheitlichen Planungsprozess initiieren. Dadurch wird gewährleistet, dass kein isoliertes Konzept entwickelt wird, sondern eine Lösung, welche die verschiedenen Blickwinkel innerhalb eines Unternehmens, sowie der Blickwinkel des Marktes, Kostenansichten und der Logistikblickwinkel, berücksichtigt.

Die Montageplanung ist an den übergeordneten Unternehmenszielen auszurichten. Dazu ist ein ganzheitliches und durchgehendes Zielsystem erforderlich. Dabei gilt es zu beachten, dass von den Mitarbeitern in einem Unternehmen zwei Arten von Zielen verfolgt werden. Zum einen wird versucht, die expliziten, also betrieblichen Ziele, zu erfüllen. Zum anderen versucht der Mitarbeiter aber auch implizite Ziele, wie den Drang nach Selbstverwirklichung, zu realisieren. Diese Ziele müssen aufeinander abgestimmt werden und mittels einer Zielhierarchie geordnet und sortiert werden. Somit erhält man ein Zielsystem, welches sowohl die Ziele des Unternehmens als auch die individuellen Ziele der Mitarbeiter enthält. Anschließend wird das Zielhandbuch entwickelt, auf welches in späteren Planungsstadien immer wieder zurückgegriffen wird. Dazu werden für die Montage relevante Einflussfaktoren erfasst und Zielbereiche gebildet. Diejenigen Bereiche, die eine hohe Priorität aufweisen, werden weiter konkretisiert. Die ausgearbeiteten Ziele werden in das Zielhandbuch überführt und eine gemeinsame Ausrichtung aller beteiligten Bereiche angestrebt. Grundlegend für ein erfolgreiches Gelingen ist die Akzeptanz der Ziele bei den Mitarbeitern. Abschließend erfolgt im letzten Schritt die Maßnahmenplanung. Von zentraler Bedeutung sind die Flexibilitätsziele in den Bereichen Menge, Varianten und Zeit, welche vom Markt abgeleitet werden. Für die spätere Planung ist eine frühzeitige Kenntnisse über die zukünftige Nachfrage von elementarer Bedeutung. Durch die Daten des laufenden Geschäftsjahres und den vergangen Jahren lassen sich Verkaufstrends ermitteln, die eine gute Prognose für die Zukunft darstellen. Balve und Rally betrachten den

Planungsprozess für ein neues Montagesystem analog einem Projekt, das innerhalb eines Unternehmens durchgeführt wird und an dem mehrere Unternehmensbereiche beteiligt sind. Grundlegend für ein erfolgreiches Gelingen ist ein effizientes Projektmanagement, welches für den Verlauf des Projekts verantwortlich ist. Wie in Abbildung 2-12 gezeigt wird, liegen vier verschiedene Ansätze vor, um ein derartiges Projekt zu leiten. Dabei wird zwischen einer statischen und einer dynamischen Sichtweise unterschieden. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Abhängigkeit der einzelnen Arbeitspakete und Phasen von dem Fortschritt des Projekts. Bei der dynamischen Sichtweise sind die einzelnen Schritte mit ihren Abhängigkeiten zeitversetzt aufgeführt, während bei der statischen Sicht lediglich eine Auflistung aller Arbeiten und deren Beschreibung vorgenommen wird.

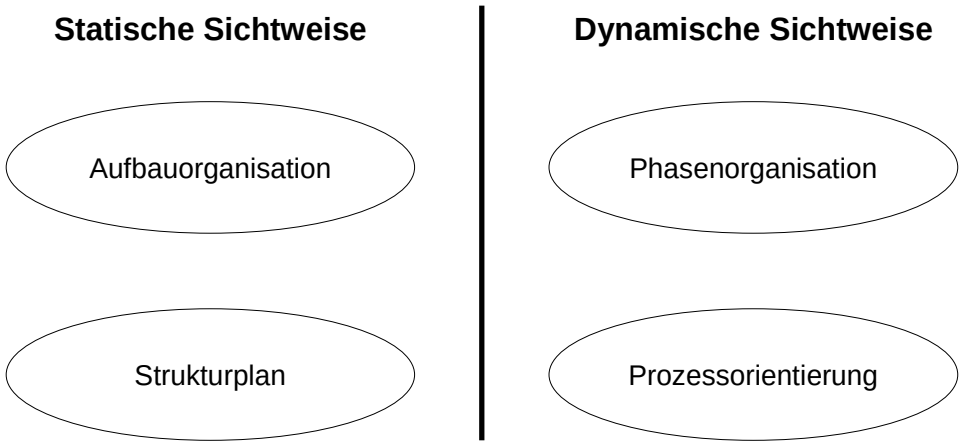


Abbildung 2-12: Projektmanagementalternativen
(In Anlehnung an Balve/Rally (2001), S. 19)

Montageplanungsprozess nach Peffekoven

Der Montageplanungsprozess nach Peffekoven teilt sich in die beiden Bereiche Analyse der Montageaufgabe und die Ableitung der Struktur des Montageablaufs (vgl. Peffekoven (1982), S.31 ff). Der Planungsprozess wird dabei durch eine Software unterstützt.

Die Analyse der Montageaufgabe bildet die Grundlage aller späteren Planungsschritte. Entscheidend dafür ist das geplante Produktspektrum, für welches das Montagesystem entwickelt werden soll. Für repräsentative Produkte wird der gesamte Montageablauf in Einzelvorgänge aufgespalten. Somit ent-

steht eine chronologische Abfolge von Arbeitsschritten. Um die einzelnen Vorgänge detaillierter zu beschreiben, wird jedem Arbeitsschritt der jeweilige Personal- und Betriebsmittelbedarf zugeordnet. Die eigentliche Beschreibung der Montageaufgabe erfolgt über die produktions- und produktbezogenen Daten, wobei erstere Auskunft über die montagetechnischen Anforderungen geben und letztere sich auf die Zusammensetzung des Produktspektrums beziehen. Um den Planungsaufwand zu reduzieren, kann es genügen, sich lediglich auf die restriktiven Bauteile zu konzentrieren. Darunter fallen Teile, die aufgrund ihrer Größe, Gewicht oder der geforderten Sauberkeit besondere Aufmerksamkeit verlangen. Darauf aufbauend wird auf Basis der ermittelten Daten zur Beschreibung der Montageaufgabe, ein Groblayout entwickelt. Durch die Zerlegung des Produktaufbaus in einzelne Arbeitsschritte können im Rahmen der Grobkonzeption verschiedene Arbeitsstationen entwickelt werden, die bei dem Montageablauf durchlaufen werden müssen. Die Struktur wird durch die Anordnung der einzelnen Arbeitsstationen und den Flächen für die Materialbereitstellung charakterisiert. Da eine Platzierung der Arbeitsstationen nicht ohne die Zuweisung von Aufgaben erfolgen kann, ist der Ablauf dadurch weitestgehend festgelegt. Eine detaillierte Ausarbeitung des Layouts erfolgt nicht. Dennoch müssen einige Einflussgrößen wie räumliche Restriktionen oder eventuell vorhandene Betriebsmittel bereits an dieser Stelle berücksichtigt werden. Auch sind genaue Kenntnisse über die aktuelle Personalsituation und ein Abgleich mit dem Personalbedarf nötig. Peffekoven empfiehlt die Konzeption von mehreren Alternativen, die nach festgelegten Kriterien bewertet werden. Ist eine Alternative ausgewählt worden, erfolgt vor der Ermittlung des Feinlayouts zunächst eine Kapazitätsberechnung. Ziel ist die Ermittlung des gesamten Personal- und Betriebsmittelbedarfs. Dann beginnt mit der genauen Platzierung der einzelnen Arbeitsplätze die Feinkonzeption. In der Kleinserienmontage muss berücksichtigt werden, dass durch wechselnde Montageaufgaben und Stückzahlschwankungen, ein Höchstmaß an Flexibilität gefordert ist. Dies bedeutet zum einen, dass keine spezialisierten Maschinen zum Einsatz kommen und zum anderen, dass eine variable Arbeitsplatzbelegung notwendig ist. Zum Ende wird die genaue Art und Anzahl der benötigten Betriebsmittel je Arbeitplatz ermittelt.

Montageplanungsprozess nach Jonas

Jonas beschreibt einen Ablauf der Montageplanung (vgl. Jonas 2000, S.14 ff), der meist parallel und in mehreren Iterationsschleifen, in einer jeweils feineren Detaillierungsstufe, durchlaufen wird (vgl. Abb. 2-13).

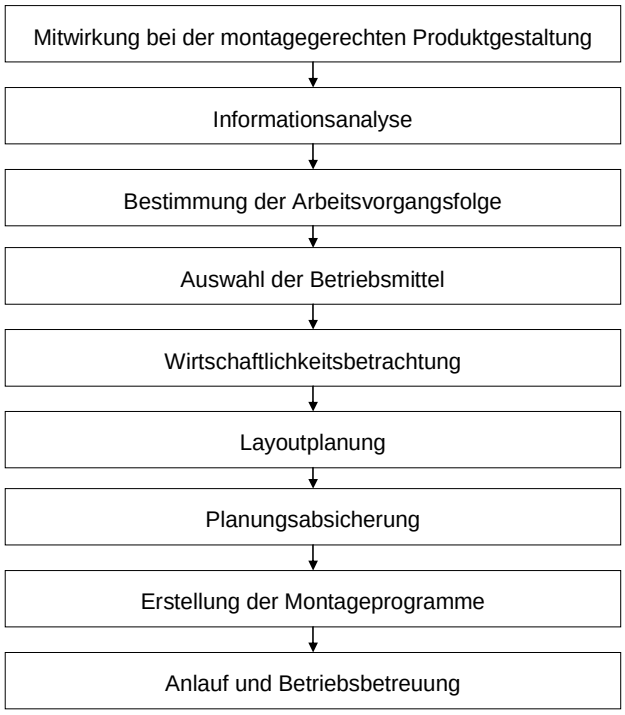


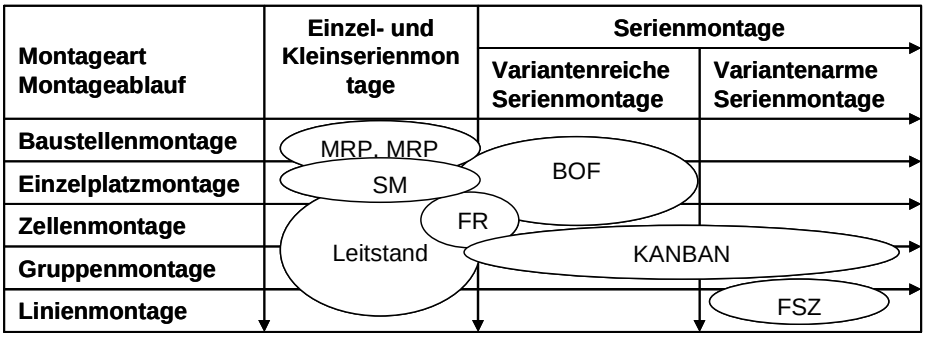
Abbildung 2-13: Montageplanungsprozess nach Jonas

Im Rahmen des ersten Planungsschritts, der Mitwirkung bei der montagegerechten Produktgestaltung, erachtet es Jonas als sinnvoll, dass die Fertigungs- und Montageaspekte schon während der Konstruktionsphase berücksichtigt werden. Im Fokus der Informationsanalyse liegen die Produktinformationen wie Fügeverbindungen, Möglichkeit zur Automatisierung und die Analyse elementarer Montagevorgänge. Doch auch die Rahmenbedingungen, wie Terminplan und Investitionsvolumen sind wichtige Bestandteile der Analyse. Die Reihenfolge, Struktur, der Montageverrichtungen wird im Schritt der Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge erarbeitet. Auf Basis dieses Anforderungsprofils können dann die Betriebsmittel ausgewählt werden und funktional den Montageaufgaben zugeordnet werden. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die unterschiedlichen Lösungsalternativen mit ihrem Aufwand und Nutzen bewertet. Dieser Prozess wird vom Start der Planung bis zur Rea-

lisierung regelmäßig durchgeführt. Somit können die nichtwirtschaftlichen Alternativen frühzeitig aussortiert werden. Unter Berücksichtigung folgender Kriterien wird eine grafische Anordnung der Betriebsmittel auf gegebener Fläche durchgeführt: gute Flächennutzung und Materialfluss, ergonomische Arbeitsbedingungen sowie hohe Anlagenflexibilität. Um die Ergebnisse der vorangegangenen Planungsschritte zu überprüfen und somit die Planung abzusichern, werden Simulationstechniken eingesetzt. Es existiert die dynamische Ablaufsimulation um die dynamische Abhängigkeiten der Produktions- und Logistikprozesse zu klären, und die Geometrie- bzw. Bewegungssimulation. Bei der Erstellung der Montageprogramme werden Roboterprogramme, SPS-Programme, NC-Programme und Arbeitsanweisungen verfasst. Als letzter Schritt folgt die Anlauf- und Betriebsbetreuung, die zum Ziel hat die vorangegangenen Planungsergebnisse in die Realität umzusetzen.

Montageplanungsprozess nach Chang

Im Rahmen seiner Vorgehensweise ordnet Chang den verschiedenen Montagearten und -abläufen mögliche Planungs- und Steuerungssysteme zu (vgl. Chang 1999, S. 20). Für die Kleinserienmontage sind demzufolge andere Systeme einzusetzen, als in der variantenreichen oder variantenarmen Serienmontage. Die Zuordnung der Systeme ist in Abbildung 2-14 dargestellt.



Legende:
	MRP	= Material Requirement Planning
	MRP II	= Manufacturing Resource Planning
	BOF	= Belastungsorientierte Fertigungssteuerung
	FR	= Fertigungsregelung
	SM	= Störungsmanagement
	FSZ	= Fortschrittszahlen

Abbildung 2-14: Planungs- und Steuerungssysteme nach Montagearten
(In Anlehnung an Chang 1999, S. 20)

1. Konkretisierung der Planungsziele	• Planungsziele feststellen und gewichten • Aufgaben abgrenzen • Entscheidungskriterien aufstellen
2. Analyse der Ausgangssituation	• Produktanalyse • Produktionsanalyse
3. Grobplanung	• Alternative Produktionsabläufe erarbeiten • Alternative Produktionssysteme entwickeln • Lösungsvarianten bewerten und auswählen
4. Feinplanung	• Teilsysteme detaillieren • Personaleinsatz planen • Realisierungsplan erstellen
5. Realisierung	• Beschaffung veranlassen • Personalschulung durchführen • Produktionssystem installieren • Produktionssystem in Betrieb nehmen

Abbildung 2-15: Montageplanungsprozess (In Anlehnung an Chang (1999))

Chang befasst sich im Folgenden mit der Montagesystemplanung und -steuerung für die variantenreiche Serienmontage (vgl. Chang 1999, S.41 ff). Er entwickelt ein Planungs- und Steuerungskonzept, welches dynamisch an die zu produzierenden Varianten anpassbar ist. Das Planungskonzept setzt sich aus fünf Phasen zusammen, die eine hohe Übereinstimmung mit den Phasen der bereits beschriebenen prozessualen Vorgehensweisen aufweisen (vgl. Abb. 2-15). Auf eine ausführliche Beschreibung der Inhalte je Phase wird demzufolge verzichtet.

Die erarbeiteten und analysierten Ansätze zur Planung der Montage geben in unterschiedlichen Detaillierungsgraden und unter Berücksichtigung verschiedener Schwerpunkte die Schritte an, die im Rahmen der Montagekonfiguration durchzuführen sind. Die betrachteten Planungsvorgehensweisen zeigen dabei zwar die wesentlichen Schritte und Gestaltungsaspekte bei der Montagekonfiguration auf, jedoch werden spezifische Herausforderungen der Montage in der Kleinserienfertigung bei KMU nur bedingt aufgegriffen. Zudem werden Empfehlungen zur Methoden und Gestaltungsansätzen nur in Auszügen gegeben. Die wesentlichen Defizite der beschriebenen Vorgehensweisen zur Montageplanung sind in Abbildung 2-16 zusammengefasst.

Vorgehensweise (Autor)	**Defizite der Vorgehensweise**
Peffekoven, 1982	• Keine Aussage zu einflussgrößenspezifischen Gestaltungsansätzen und Methoden • Keine Aussage zu möglicher Parametrisierung relevanter Einflussgrößen • Geringer Fokus auf komplexe Produkte • Zielorientierung wird nur untergeordnet betrachtet
Bullinger, 1986	• Keine Aussage zu einflussgrößenspezifischen Gestaltungsansätzen und Methoden für Kleinserienmontage komplexer Produkte • Keine Aussage zu möglicher Parametrisierung relevanter Einflussgrößen • Fehlende Unterstützung des Planungsprozesses durch IT-Tool
Eversheim, 1989	• Keine Aussage zu einflussgrößenspezifischen Gestaltungsansätzen und Methoden • Keine Aussage zu möglicher Parametrisierung relevanter Einflussgrößen • Fehlende Unterstützung des Planungsprozesses durch IT-Tool
Chang, 1999	• Fehlende Unterstützung des Planungsprozesses durch IT-Tool • In Teilen Aussagen zu einflussgrößenspezifischen Gestaltungsansätzen und Methoden • Keine Aussage zu möglicher Parametrisierung relevanter Einflussgrößen • Geringer Fokus auf komplexe Produkte • Fehlende Unterstützung des Planungsprozesses durch IT-Tool
Jonas, 2000	• Keine Aussage zu einflussgrößenspezifischen Gestaltungsansätzen und Methoden • Keine Aussage zu möglicher Parametrisierung relevanter Einflussgrößen • Zielorientierung wird nur untergeordnet betrachtet • Geringer Fokus auf komplexe Produkte
Balve, Rally, 2001	• Nur in Teilen Empfehlungen zur prozessualen Vorgehensweise bei der Montageplanung • Keine Aussage zu einflussgrößenspezifischen Gestaltungsansätzen und Methoden • Keine Aussage zu möglicher Parametrisierung relevanter Einflussgrößen • Geringer Fokus auf komplexe Produkte • Fehlende Unterstützung der Planungsvorgehensweise durch IT-Tool

Abbildung 2-16: Defizite der bestehenden Vorgehensweisen zur Montageplanung

Aus der Literaturanalyse sind die Anforderungen an die Gestaltung des Montagekonfigurationsprozesses komplexer Produkte in kleinen Serien ableitbar (vgl. Abb. 2-17). Eine wesentliche Anforderung ist das schrittweise Vorgehen bei der Montageplanung. Beginnend mit der Analyse der Rahmenbedingungen der Montage sind sukzessive die Montageobjekte, das Produktprogramm und das Montagesystem zu gestalten. Eine weitere Anforderung ist die Implementierung einer geeigneten Systematik zur Bewertung der Gestaltungsmöglichkeiten von Produkt und Montage.

Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess für die Kleinserienmontage komplexer Produkte
• Rahmenbedingungen der Unternehmen sind zu berücksichtigen • Produktgestaltung muss Bestandteil des Konfigurationsprozesses sein • Sequenzielles Vorgehen inkl. Möglichkeit von Iterationsschleifen ist zu realisieren • Einflussgrößenspezifische Empfehlungen zu Gestaltungsansätzen Empfehlungen zum Methodeneinsatz sind zu realisieren • Geeigneter Bewertungsansatz zur Beurteilung der Ansätze bzgl. Zielsystem ist notwendig

Abbildung 2-17: Anforderungsanalyse bestehender Vorgehensweisen zur Montageplanung

Zur Realisierung einer zielgerichteten Montagelösung ist zudem ein iteratives Vorgehen notwendig. Der Konfigurationsprozess ist je nach erreichtem Ergebnis mehrmals zu durchlaufen, um eine schrittweise Verbesserung des Ergebnisses zu erreichen. Es sind einflussgrößenspezifische Empfehlungen zu Gestaltungsansätzen und Methoden zu entwickeln und mithilfe eines geeigneten Bewertungsansatzes zu beurteilen.

2.3 Montageorientierte Produktgestaltung

Die Montageobjektgestaltung unterteilt sich in die Einzelteil und Baugruppengestaltung. Bei der Einzelteilgestaltung stehen die Werkstückmerkmale im Vordergrund. Ziel ist die Verbesserung des Handhabens, Greifens, Spannens, Tolerierens und des Fügens. Erreicht werden können die Ziele durch die Verbesserung der Werkstückeigenschaften (geometrische Werkstückdaten, Formelemente, physikalische Eigenschaften) und das Werkstückverhalten in Ruhe und bei der Beförderung (vgl. Hesse 2006, S. 43 f). Unter der Baugruppengestaltung versteht man die konstruktive Umsetzung von Baugruppen. Baugruppen entstehen durch das Zusammenfügen von mindestens zwei Einzelteilen und bilden dadurch eine Montageeinheit von höherer Wertigkeit (vgl. Konold/Reger 2003, S. 26). Neben der Gestaltung der Montageobjekte eignet

sich die Produktprogramm/-stukturgestaltung als Ansatz zur Montageoptimierung. Unter der Produkt- oder Erzeugnisstruktur wird die Zusammensetzung eines Endproduktes aus Baugruppen und Einzelteilen verstanden (vgl. Abb. 2-18). Die Produktstruktur beschreibt dabei den Aufbau eines Produkts aus Komponenten und Baugruppen und deren Beziehung zueinander (vgl. Schönsleben 2006, S. 31).

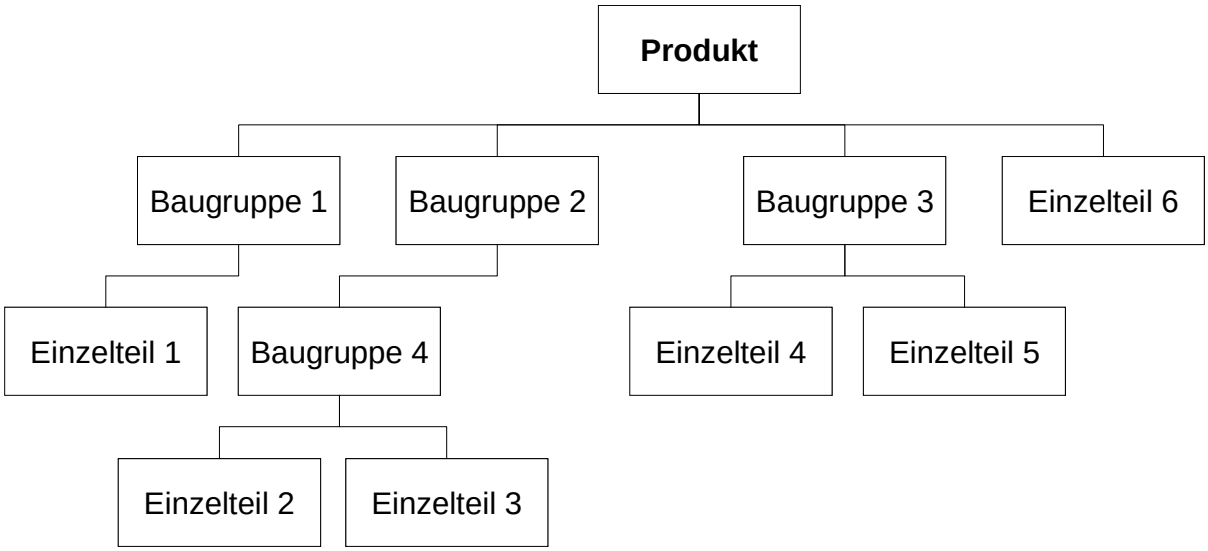


Abbildung 2-18: Produktstruktur

Die Produktstruktur wird von der Konstruktion und der Produktion von verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und bewertet. Im Gegensatz zur Konstruktion, die das Produkt unter funktionalen Gesichtspunkten betrachtet, liegt für die Produktion eine fertigungsorientierte Produktstruktur im Blickpunkt (vgl. Ungeheuer 1986, S. 9). Eine zweckmäßige Produktstruktur erfüllt die Aufgabe, alle davon betroffenen Bereiche des Unternehmens (Produktion, Montage, Vertrieb, Ersatzteilmanagement) zu berücksichtigen. So kann die Produktstruktur dazu beitragen, die Herstellung und Abwicklung eines Produkts effizient durchzuführen, wodurch Mengen- und Zeiteffekte erzielt werden können (vgl. Schuh 2005, S. 120). Die Ursache für die steigende Relevanz einer montagegerechten Produktgestaltung liegt in der steigenden funktionalen Komplexität der Produkte, der steigenden Anzahl miniaturisierter Fügeteile sowie in den steigenden Reinheits- und Qualitätsanforderungen (vgl. Hesse 2006, S. 11). Die hohe Anzahl von Varianten mit kleinen Losen sind weitere Ursachen für den Bedarf einer montageorientierten Produktgestaltung.

2.3.1 Konzepte zur Montageobjektgestaltung

Zur Gestaltung der Montageobjekte eignen sich insbesondere Ansätze, die zur Vereinfachung der Montagetätigkeit beitragen. Die in der Literatur genannten Ansätze sind in Konstruktionsregeln für die montageorientierte Einzelteil- und Bauteilgestaltung zusammengefasst.

So liegen erhebliche Rationalisierungspotentiale in der Reduzierung der Teileanzahl durch Bauteilintegration (Materialeinsparung) und der daraus folgenden Reduzierung der Montageschritte. Eine solche Integralbauweise entsteht durch das Zusammenfassen mehrerer Funktionselemente in einem Bauteil (vgl. Hoenow/Meißner 2009, S. 47). Ziel der Bauteilintegration ist somit die Minimierung der Anzahl der Einzelbauteile je Endprodukt. Vorteile der Bauteilintegration sind weniger Fertigungsvorgänge, geringerer Montageaufwand und dadurch geringerer Aufwand bei der Qualitätskontrolle sowie geringerer Zerlegeaufwand beim Recycling (vgl. Kurz/Hintzen/Laufenberg 2009, S. 241). Zur Identifizierung von integrierfähigen Bauteilen müssen diese gewisse Voraussetzungen erfüllen. Bauteilintegration ist beispielsweise nicht sinnvoll, wenn zwischen den Teilen eine Relativbewegung erforderlich ist oder wenn unterschiedliche Materialien der Bauteile unumgänglich sind.

Montagegerechte Konstruktion beinhaltet auch die Realisierung von einfachen Bewegungsmustern beim Fügen (vgl. Hesse 2006, S. 41). Einfache Bewegungsmuster forcieren ein Minimum von Bewegungen bei der Montagetätigkeit. Werkzeuge und Bauteile sind so anzuordnen, dass die Teile in Reichweite des Montagemitarbeiters sind. Körperdrehungen und aufwendige Bewegungsabläufe werden dadurch vermieden. Durch die ergonomische Gestaltung der Montageaufgabe wird der Ermüdungsgrad der Arbeitenden gesenkt. Zudem ist die Ausschussquote deutlich geringer (vgl. Lotter 2006c, S. 128). Einfache Bewegungsmuster beim Montieren sind insbesondere zu realisieren, wenn ein Großteil der Montagevorgänge nicht automatisiert erfolgt und die Ergonomie des Arbeitsplatzes von erhöhter Bedeutung ist.

Im Rahmen einer montagegerechten Produktgestaltung ist der Einsatz rationeller Verbindungsverfahren zielführend. Ein Beispiel für ein rationelles Ver-

bindungsverfahren sind Snap-in-Verbindungen (vgl. Hesse 2006, S. 42). Snap-in-Verbindungen sind aus Montagesicht effektiv, da für das Fügen nur eine geradlinige Presskraft erforderlich ist. Die Entscheidung für eine lösbare oder nicht lösbare Schnappverbindung hängt von der Funktion des Bauteils ab. Beispiele für bewährte Schnappverbindungen sind Schnapphaken, Ringschnapper und Schnappkugeln. Die Vorteile von rationellen Verbindungsverfahren sind die geringe Bearbeitungszeit zur Herstellung der Verbindung und die geringe Belastung des Montagemitarbeiters bei der Herstellung der Verbindung (vgl. Niemann/Winter/Höhn 2005, S. 379).

Eine demontageorientierte und recyclingfreundliche Montageobjektgestaltung erfordert eine Vereinfachung des Teileaustauschs bei Verschleiß der Bauteile (vgl. Konold/Reger 2003, S. 18). Insbesondere bei hochwertigen Produkten ist der Austausch von Bauteilen vom Kunden gewünscht. Zur Erleichterung des Austauschs von Bauteilen sind die Verbindungen zwischen den Bauteilen gut zugänglich und leicht lösbar zu gestalten. Wenn eine zerstörungsfreie Demontage nicht möglich ist, sollte der zerstörende Trennvorgang auf niedrigwertige Bausteile beschränkt sein. Zudem sind lösbare Verbindungen zu präferieren. Diese sind Verbindungen, die auf Form- oder Kraftschluss basieren (beispielsweise Schraub- und Schnappverbindungen) (vgl. Steinhilper/Schneider 1996, S. 736). Die Beschädigung wieder verwendbarer Bauteile bei der Demontage ist konstruktiv zu vermeiden. Durch eine demontageorientierte Produktgestaltung können sowohl Demontagezeit als auch Demontage- und Ersatzteilkosten reduziert werden.

Im Rahmen der Fertigung und Montage ist die Prüfbarkeit der Bauteile nach jeder Bearbeitungsstufe sicherzustellen (vgl. Konold/Reger 2003, S. 17). Es sind mess- und prüfgerechte Produkte und Teile zu gestalten um die hohen Prüfkosten zu verringern. Die erfolgreiche Ausführung jedes Montageschrittes muss kontrollierbar sein und Kontrollfunktionen sind idealerweise bereits in den Fügeprozess zu integrieren. Zur Realisierung prüfgerechter Bauteile sollte die Zusammenarbeit von Konstruktion und Qualitätssicherung verstärkt werden. Neben den Konstruktionsregeln können beispielsweise vorprüfbare Bauteile oder bereits zu 100 % geprüfte Zukaufteile eingesetzt werden, um den

Aufwand in der Montage gering zu halten. Dazu sind vorprüfbare Funktionsmodule zu definieren, die ohne Vorarbeiten montierbar sind (vgl. Schuh 2005, S. 120).

Konzepte und Ansätze zur montageorientierten Produktprogrammgestaltung haben in der Regel die Standardisierung des Produktprogramms und die Beherrschung der Variantenvielfalt zum Ziel. Insbesondere die Strategien der Produktordnungssystemgestaltung eignen sich dazu, diese Ziele zu erreichen (vgl. Abb. 2-19). Das Konzept der Produktordnungssysteme basiert auf den Leitlinien Individualisierung nach außen, Standardisierung nach innen, Stabilität und Flexibilität sowie transparentes Controlling (vgl. Wildemann 2010b, S. 47). In diesem Rahmen werden die vier Strategien Baukastensystem, Module/Systeme, Gleichteile und Plattformen ausgearbeitet (vgl. Wildemann 2010b, S. 70 ff und Kleissl 2004, S. 48 ff).

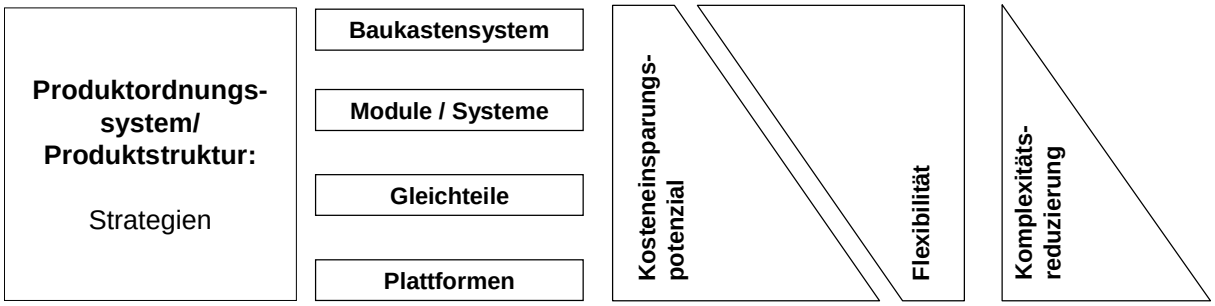


Abbildung 2-19: Strategien und Wirkungen von Produktordnungssystemen (Wildemann (2010b), S. 72)

Mit einem Baukasten wird ein System bezeichnet, das aus einer definierten Anzahl unterschiedlicher Elemente, den Bausteinen besteht. Durch das Zusammensetzen der Bausteine kann auf Basis eines Ordnungssystems eine hohe Anzahl von Produkten zusammengesetzt werden (vgl. Franke et al. 2002, S. 74.). Die einzelnen Bausteine können über Schnittstellen zusammengefügt werden, wodurch größere Bauteile und Produkte ausgestaltet werden können (zu den Definitionen der Baukastenstrategie vgl. Biegert 1971, S. 10 und Kohlhase 1997, S. 8). Ziel der Baukastenstrategie ist, die für das finale Baukastenprodukt am häufigsten zu erstellenden Teilfunktionen (Bausteine) zu erkennen und zusammenzufassen. Für diese soll eine möglichst große zu

fertigende Stückzahl entstehen. Zudem sollen selten benötigte Teilfunktionen (Bausteine) abgetrennt werden, um häufig benötigte Gesamtfunktionen nicht mit deren Kosten zu belasten. Da das Risiko und der Aufwand bei der Entwicklung eines Baukastensystems hoch sind, muss bei der Ausgestaltung systematisch vorgegangen werden. Vorteile der Baukastenstrategie sind eine Reduzierung der Montagezeiten bei gleichbleibender Montagequalität, die Erhöhung des Seriencharakters der Montage sowie die Produktkostenreduzierung.

Module sind Baugruppen, deren Vormontageumfang deutlich höher als ihr Einbauumfang in die übergeordnete Baugruppe ist. Zur Realisierung werden verschiedene Einzelfunktionen eines Produkts in einem Modul zusammengefasst (vgl. Schuh 2005, S. 128). Module weisen in der Regel standardisierte Schnittstellen auf und können dadurch an verschiedenen Stellen der Produktprogrammrealisierung eingesetzt werden. Das Ziel der Modularisierung von Produkten ist, dass durch die Reduzierung der Varianten bereits bei der Gestaltung des Produktordnungssystems Komplexität in der Produktion verringert wird. Der Vorteil von Modulen ist, dass in der Montage anstatt vieler Einzelbauteile ein vollständiges, vorprüfbares Modul integriert wird. Der Unterschied von Systemen zu Modulen ist, dass diese im Gegensatz zu Modulen Einheiten sind, die eine bestimmte Funktion vollständig abdecken (vgl. Piller/Waringer 1999, S. 39). Systeme sind wie auch Module vorprüfbare Bauteile mit einer definierten Funktion.

Mit dem Begriff Gleichteile werden die identischen Komponenten eines Produktordnungssystems definiert, die variantenunabhängig sind und in verschiedenen Varianten eingesetzt werden (vgl. Zimmermann 1988, S. 44). Als Synonym für Gleichteile wird auch der Begriff Wiederholteile verwendet. Das Ziel der Verwendung von Gleichteilen zur Ausgestaltung des Produktprogramms ist, möglichst viele identische oder ähnliche Bauteile innerhalb des Produktordnungssystems zu verwenden. Im Montagevorgang resultiert daraus eine Steigerung der Effizienz durch Standardisierung (vgl. Kleissl 2004, S. 53). Die Standardisierung durch Gleichteile führt in der Montage zu geringeren Fehlerquoten und damit einer höheren Produktqualität. Zusätzlich werden Bearbeitungs- und Durchlaufzeiten und Kosten in der Montage reduziert. Im Rahmen

der Gleichteilestrategie ist zu berücksichtigen, dass Gleichteile ein breites Spektrum an Funktionen erfüllen und vielfältigen Anforderungen genügen müssen. Daher ist es notwendig, den idealen Grad an Gleichteilen zu bestimmen. Dabei sind Stück-, Lagerhaltungs-, Rüst- und indirekte Komplexitätskosten zu berücksichtigen.

Die Plattformstrategie basiert auf einer modularen Produktarchitektur. Eine Produktplattform bildet eine funktional und räumlich abgeschlossene Einheit, die sich aus verschiedenen Komponenten und Schnittstellen zusammensetzt. Auf dieser Grundlage können unterschiedliche Produkte effizient entwickelt und produziert werden (vgl. Meyer/Lehnerd 1997, S. 39). Die Plattform kommt somit bei mehreren Produkten zum Einsatz. Die Folge ist eine hohe Wiederholhäufigkeit von Arbeitsschritten in der Produktion. Zur Realisierung von Plattformen sind redundante Module (redundant bzgl. der Funktion) von Produkten auf eine Plattform zu übertragen. Die Verwirklichung der Plattformstrategie führt zu Skalen- und Erfahrungskurveneffekten in der Montage und dadurch zu einer Verbesserung der Größen Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität. Jedoch benötigt die Erarbeitung von Plattformen eine längere Entwicklungszeit. Produkte, die auf einer bereits entwickelten Plattform basieren können demgegenüber in einer kürzeren Zeit entwickelt werden.

Der Variantenbestimmungspunkt ist der Punkt in der Wertschöpfungskette, bei dem zum ersten Mal festgelegt wird, welche der möglichen Varianten produziert wird. Da dies eine hohe Standardisierung des Produktionsprozesses und eine hohe Flexibilität bei der Reaktion auf Kundenwünsche ermöglicht, ist es sinnvoll, den Variantenbestimmungspunkt möglichst an das Ende des Produktentstehungsprozesses zu legen (vgl. Wildemann 2010c, S. 145). Die Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts wird häufig in Kombination mit der Realisierung der Baukastenstrategie verwirklicht. Zur Identifikation des geeigneten Variantenbestimmungspunkts eignet sich die Erstellung eines Variantenbaums. Der Variantenbaum ist zu Anfang sehr schlank und verästelt sich erst am Schluss. Ein derartiges Variantenmanagement führt dazu, die Komplexität bei der Leistungserstellung zu reduzieren ohne die vom Kunden geforderte Leistungsvielfalt zu verringern (vgl. Köster 1998, S. 81 f). Im Hinblick auf

die vorliegende Problemstellung der Kleinserienmontage komplexer Produkte erfolgt eine qualitative, auf den Analysen basierende Einordnung der Gestaltungsansätze hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den Montageerfolg. Dazu werden die Gestaltungsansätze bezüglich der beiden, in der manuellen und variantenreichen Kleinserienmontage überdurchschnittlich bedeutenden, Größen „Vereinfachung der Montagetätigkeit“ und „Steigerung der Flexibilität beurteilt (vgl. Abb. 2-20). Die Einteilung verdeutlicht, dass zur Steigerung der Produktflexibilität insbesondere die Strategien der Produktordnungssysteme geeignet sind. Einzelne Ansätze, wie beispielsweise die Gleichteilestrategie erhöhen sowohl die Variantenflexibilität und vereinfachen zudem die Montageaufgabe. Der Ansatz „demontageorientierte Produktgestaltung“ steigert weder die Flexibilität noch vereinfacht er die Montagetätigkeit. Dieser Ansatz ist jedoch als Folge der häufig hochwertigen Teile der Kleinserienmontage von Bedeutung, da im Sinne der Produktlebenszyklusbetrachtung der Austausch von hochwertigen Bauteilen immer stärker an Relevanz gewinnt.

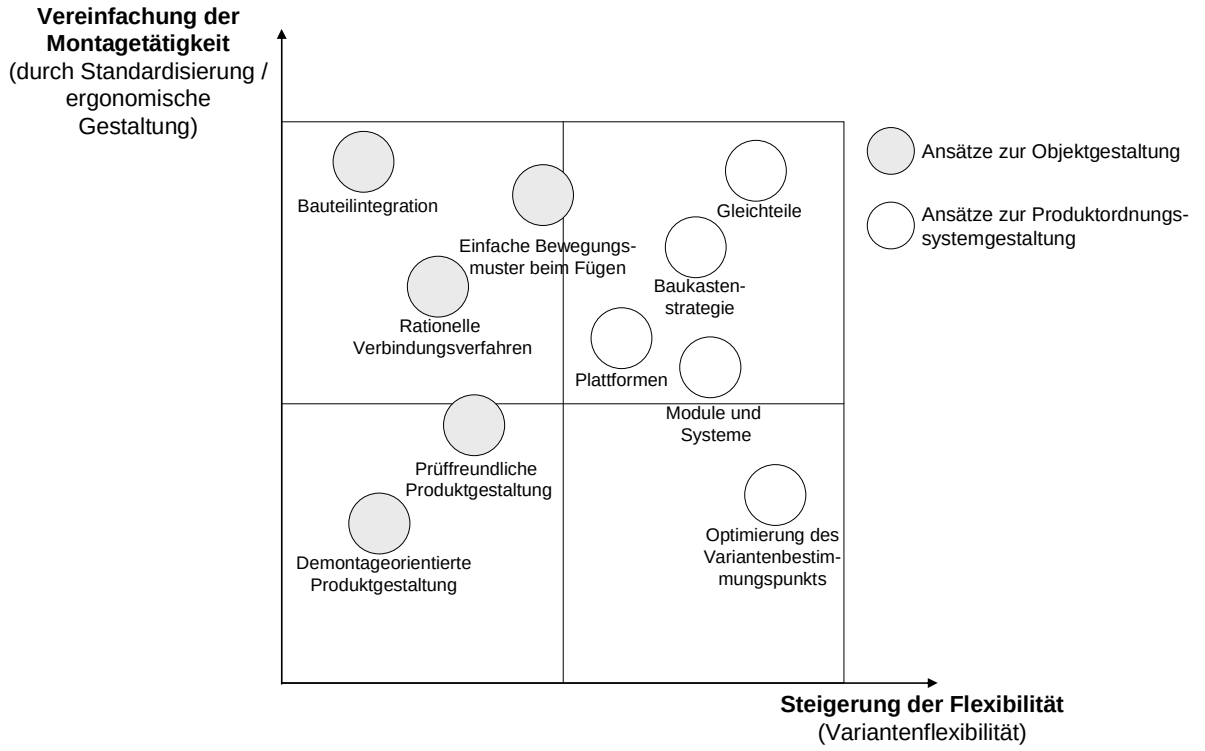


Abbildung 2-20: Zielwirkungen der Ansätze zur Montageobjektgestaltung

2.3.2 Methoden zur Montageobjektgestaltung

Analog zu den Gestaltungsmöglichkeiten im Bereich der Produktgestaltung liegen in der Literatur und in der Praxis unterschiedliche Methoden und Instrumente zur Realisierung einer montageorientierten Gestaltung der Produkte vor. Die Methoden lassen sich in Ansätze zur Montageobjekt- und zur Produktprogrammgestaltung unterteilen, wobei sich einzelne Methoden und Instrumente für die Unterstützung beider Gestaltungsbereiche eignen. Zur Realisierung einer montageorientierten Montageobjektgestaltung können insbesondere Methoden und Instrumente eingesetzt werden, die die Kommunikation und den Austausch zwischen Entwicklung und Montage verbessern. Hierzu zähen Simultaneous Engineering, Integrierte Produktentwicklung, DFMA/DFA/DFM und Produktklinik.

Grundprinzip der Methode Simultaneous Engineering ist die zeitliche Überlappung von ursprünglich nacheinander folgenden Arbeitsabläufen (vgl. Stanke/Berndes 1997, S. 15). Sobald in einem Arbeitsablauf genügend Informationen erarbeitet wurden, wird parallel der nächste Arbeitsablauf begonnen. Ziel ist eine neue Kapazitätsverteilung über den Innovationsverlauf, bei der durch geeignete Entkoppelung der Aktivitäten eine Parallelbearbeitung möglich wird. Die Steigerung der Effizienz von Innovationsprozessen basiert auf folgenden Gestaltungssäulen (vgl. Wildemann 1997, S. 32): Vorverlagerung von Erkenntnisprozessen, Erhöhung des Anteils deterministischer Prozesse, Parallelisierung von Aktivitäten und Integration von Aktivitäten und deren Beschleunigung.

Unter dem Begriff der Integrierten Produktentwicklung wird ein integrierter und interdisziplinärer Ansatz, mit dem Ziel, die Kernkompetenz der Unternehmen weiter zu verstärken und gleichzeitig vorhandene Synergiepotentiale auszuschöpfen, verstanden (vgl. Vajna et al. 2009, S. 409 f). Hierzu zählen dynamische Organisationsformen, die Verwendung von Vorgehensweisen und Methoden, der Einsatz modernster Fertigungs- und Informationstechnologien gleichermaßen wie die Orientierung auf unternehmensspezifische Ressourcen sowie die verstärkte Einbindung der Mitarbeiter und die Verknüpfung von Prozessen. Zu den Prozessen gehören die Prozesse der Bereiche Entwicklung,

Konstruktion, Marketing, Produktion, Logistik und Einkauf. Durch die Verzahnung dieser Prozesse wird sichergestellt, dass die Gestaltung eines neuen Produkts stets abgestimmt realisiert wird (vgl. Wildemann 1997, S. 28 f). Mit dieser Vorgehensweise wird erreicht, dass ein neues Produkt von Anfang an so geplant wird, dass alle folgenden Maßnahmen und Tätigkeiten im Unternehmen beachtet werden.

Die Methoden Design for Manufacture and Assembly (DFMA), Design for Assembly (DFA) und Design für Manufacturing (DFM) basieren auf Boothroyd und Dewhurst und haben zum Ziel, den Entscheider bei der der Ausgestaltung des Montageobjekts zu unterstützen (vgl. Boothroyd/Dewhurst 1988). Hinter den Methoden sind Vorgehensweisen zu verstehen, die helfen, Produkte so zu gestalten, dass sie mit einem minimalen Fertigungs- und Montageaufwand hergestellt werden können. Ein besonderes Augenmerk wird bei DFA auf die Belange der Montage beim Produktaufbau gelegt. Bei „Design for Manufacture“ steht die fertigungsgerechte Produktgestaltung im Fokus. Besondere Beachtung finden hierbei die Kosten für die Herstellung von Teilen, die Kosten der Herstellprozesse sowie die Kosten für die erforderlichen Werkzeuge.

Die Produktklinik ist eine Vorgehensweise zur Analyse von Produkten und der Synthese der Bestlösung durch Reverse Engineering (vgl. Wildemann 2010d, S. 20). Im Rahmen der Produktklinik wird versucht, durch Lernen am konkreten Objekt (z. B. eines Wettbewerbsproduktes) sein eigenes Produkt oder den Prozess zu verbessern. Die Produktklinik erfolgt ähnlich einem detaillierten Produktbenchmarking. Jedoch werden strukturiert und in kleinen Schritten die besten Lösungen erarbeitet. Folgende Vorgehensweise wird im Rahmen der Produktklinik empfohlen:

- Definition des Untersuchungsgegenstands,
- Organisation des Produktklinik Workshops mit relevanten Mitarbeitern,
- Beschaffung des Vergleichsobjekts/ der Vergleichsobjekte,
- Leistungsmessung des Vergleichsobjekts/ der Vergleichsobjekte und des eigenen Produkts,

- Demontage und Auditierung der Objekte,
- Kalkulation der Wettbewerbskosten und Zielkostenvorgabe für eigenes Produkt und
- Cherry Picking der besten Lösungen aus der Analyse.

In Abhängigkeit von den Unternehmenszielen kann die Produktklinik mit Fokus auf die Montagefähigkeit der Produkte erfolgen.

Zur montageorientierten Ausgestaltung des Produktordnungssystems eignen sich insbesondere Methoden, die die Produktstruktur und Montagereihenfolgen visualisieren und aufzeigen. Hierzu zählen die Methoden Fügematrix, Checkliste Produktstrukturierung, Variantenbaum und Typen- und Stückzahlenanalyse.

Die Anwendung einer Fügematrix hat zum Ziel, die Zeit-Folge-Verhältnisse des Montageablaufs bei der Montage von Einzelteilen zu einem Produkt zu analysieren (vgl. Ungeheuer 1986, S. 80). Die Grundlage einer Fügematrix sind die in der Kopfzeile aufgeführten Einzelteile unter Verwendung der zugeordneten Teilenummer. Die Montagereihenfolge der Einzelteile, aus denen sich das Produkt zusammensetzt, wird mithilfe eines Fügenetzplans visualisiert. Dabei ist es möglich, neben sequenziellen Montageschritten auch parallele Montageschritte aufzuzeigen. Die mithilfe des Fügenetzplans visualisierte Dokumentation der Montagereihenfolge von Einzelteilen erweitert die montageorientierte Produktstruktur von der Baugruppenebene bis zur Einzelteilebene. Auf Basis der Visualisierung durch den Fügenetzplan kann demzufolge ein montagefreundlich ausgestaltetes Produktordnungssystem identifiziert werden.

Checklisten zur Produktstrukturierung können zur Zuordnung von Einzelteileilen zu Baugruppen und damit der Realisierung einer montagefreundlichen Produktstruktur eingesetzt werden. Die Checklisten zeigen die Randbedingungen im Konstruktionsprozess auf, ohne dass die Kreativität im Entwicklungsprozess wesentlich beeinflusst wird. Da die Ausgestaltung einer derartigen Checkliste unternehmensspezifisch ist, kann nur die Herleitung der Checkliste

standardisiert vorgegeben werden (vgl. Ungeheuer 1986, S. 83 ff). Eine montageorientierte Checkliste berücksichtigt insbesondere Fragen, die die Montagefähigkeit der Bauteile betreffen, wie beispielsweise Fragen zu den Schnittstellen, zu Varianten und zur Stücklistenstruktur.

Ein Variantenbaum dient der Visualisierung der Variantenvielfalt eines Unternehmens. Das Aufzeigen der Varianten des Produkts erfolgt unter Verwendung einer übersichtlichen und konsistenten Baumstruktur (vgl. Ehrlenspiel/Kiewert/Lindemann 2007, S. 303). Dadurch können die Auswirkungen konkreter Gestaltungsmaßnahmen sowohl auf Baugruppen- als auch Produktebene in Abhängigkeit vom Montagfortschritt visualisiert werden. Ziel einer montagorientierten Variantengestaltung unter Verwendung des Variantenbaums ist beispielsweise die Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts ans Ende der Wertschöpfungskette (vgl. Eversheim/Schenke/Warnke 1998, S. 32 f). Der Variantenbaum unterstützt den Anwender demzufolge bei der Reduzierung der Montagekomplexität durch die montageorientierte Gestaltung des Produktordnungssystems.

Im Rahmen einer Typen- und Stückzahlenanalyse wird eine Übersicht ausgearbeitet, die aufzeigt, wie die Fertigungsstückzahlen, die Typenanzahl und der Umsatz je Produktgruppe des Produktprogramms verteilt sind. Damit kann aufgezeigt werden, welche Produktgruppen einen hohen Typenanteil mit einem nur geringen Umsatzanteil aufweisen (vgl. Wildemann 2010e, S. 167 f). Produkte, die eine hohe Anzahl von Varianten und einen geringen Umsatzanteil aufweisen steigern die Komplexität in der Montage und sind auf ihre Relevanz hin zu hinterfragen und gegebenenfalls zur Steigerung der Montagefreundlichkeit des Produktordnungssystems, zu eliminieren. Wichtig ist bei der Entscheidung für eine Reduzierung der Varianten jedoch immer die Berücksichtigung des Kunden mit seinen Bedürfnissen und Anforderungen.

Die Methoden zur Montageobjektgestaltung können auf Basis der Verantwortungsbereiche unterteilt werden. Dazu werden die Methoden den Verantwortungsbereichen „Verantwortung Montage“ und „Verantwortung Produktentwicklung“ qualitativ zugeordnet (vgl. Abb. 2-21). Die Einordnung der Methoden verdeutlicht, dass erfolgreiche Methoden sowohl die Verantwortung der Mon-

tage als auch der Produktentwicklung erfordern. Erst die Kombination der Erfahrungen der Mitarbeiter aus der Entwicklung und der Verantwortlichen für den Montageprozess garantieren eine Lösung, die den Ansprüchen beider Interessensgruppen genügt. Die strukturierte Einbeziehung der Montage in den Entwicklungsprozess durch geeignete Methoden verringert die Probleme durch Montageobjekte, die hohe Anforderungen an die Montage stellen. Derartige Schwierigkeiten können beispielsweise eine Vielzahl von unterschiedlichen Verbindungselementen oder aufwändige und heterogene Verbindungsverfahren darstellen. Dadurch steigen sowohl der Bereitstellungs- als auch der direkte Montageaufwand. Die Methode Typen- und Stückzahlenanalyse ist keinem der beiden Bereiche direkt zuzuordnen. Es sind insbesondere Umsatz- und Verkaufszahlen einzubeziehen, um eine ganzheitliche Betrachtung sicherzustellen.

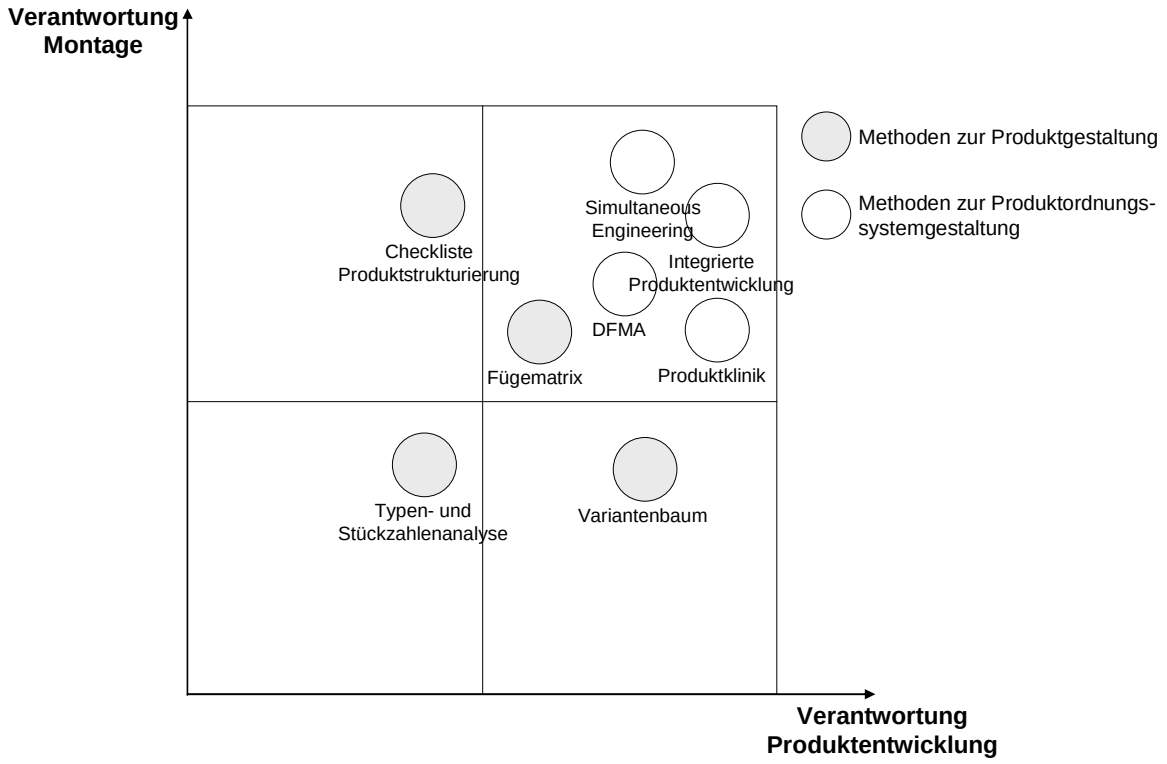


Abbildung 2-21: Einordnung der Methoden zur Montageobjektgestaltung

2.4 Montagegestaltung

Die Montagegestaltung unterteilt sich in die Gestaltung der Materialbereitstellung, die Auswahl der Montageorganisationsform, die Materialfluss- und Lay-

outgestaltung und die Gestaltung des Mitarbeitereinsatzes. Zudem ist die qualitätsorientierte Gestaltung ein Teilbereich der Montagekonfiguration.

Der Materialbereitstellung obliegt die Aufgabe, die in der Montage benötigten Teile mir hoher Zuverlässigkeit am richtigen Ort zur richtigen Zeit in der geforderten Qualität bereit zu stellen (vgl. Nyhuis et al. 2006, S. 322). Die Bereitstellung der Bauteile erfolgt vom Wareneingang bis zum Bereitstellungsort an der Montage. Die Bereitstellung kann beispielsweise mithilfe spezifischer Behälterkonzepte erfolgen. In Abhängigkeit von Teilegröße und dem Grad der Standardisierung der Teile sind beispielsweise unterschiedliche Ladungsträger geeignet (vgl. Klug 2010, S. 149 f). Zudem liegen verschiedene Konzepte zur Steuerung der Bereitstellung vor. Die produktionssynchrone Beschaffung ermöglicht beispielsweise eine ganzheitliche Optimierung der logistischen Kette zwischen dem Abnehmer und dem Lieferanten. Das Konzept der produktionssynchronen Beschaffung eignet sich insbesondere für Teile mit hohem Verbrauchswert, hoher Voraussagegenauigkeit und einem stetigen Verbrauch (vgl. Wildemann 2010g, S. 170 f). Die Materialbereitstellung hat sich am Montageablauf zu orientieren (vgl. Stolz 1988, S. 27). Dies bedeutet, dass die Bereitstellung zur richtigen Zeit in der richtigen Menge und eindeutig zuordenbar erfolgt. Zudem muss die Verfügbarkeit des Arbeitsvorrats sichergestellt sein. Dies bedeutet einen direkten Zugriff auf Montagekomponenten durch die Mitarbeiter und kurze Bereitstellzeiten. Eine weitere Anforderung der Bereitstellung ist die einbaufertige Bereitstellung der Montagekomponenten durch Vorkommissionierung in übersichtlichen Teileumfängen und eindeutige Materialkennzeichnung. Des Weiteren muss eine geeignete Organisation aufgebaut werden, was eine eindeutige Übersicht der Materialverfügbarkeit und eine aktuelle Bestandsführung bedeutet. Die Auswahl der idealen Beschaffungslogistik und Art der Materialbereitstellung hängt von verschiedenen Parametern ab. Neben der Klassifikation der zu beschaffenden Teile sind insbesondere der geforderte Servicegrad und der Fertigungstyp für das auszuwählende Beschaffungslogistikkonzept relevant. Weitere Parameter stellen logistische Merkmale, wie die zu montierende Losgröße oder die Bestellmenge dar (vgl. Nyhuis et al. (2006), S. 340).

Die Auswahl der Montageorganisationsform ist ein weiterer Bereich der Montagegestaltung. Die verschiedenen Organisationsformen können nach den beiden Kriterien Ortsgebundenheit des Montageobjekts und Ortsgebundenheit des Montageplatzes typologisiert werden (vgl. Warnecke 1993, S. 43 f). Für alle Ausprägungskombinationen sind Organisationsformen definiert. Die Formen, bei denen das Montageobjekt ortsgebunden ist, werden als stationär bezeichnet, während man bei bewegten Montageobjekten von gleitender Montage spricht (vgl. Grundig 2008, S. 153). Wenn eine Bewegung stattfindet, können zudem Bewegungsablauf und Bewegung charakterisiert werden. Der Bewegungsablauf kann aperiodisch, periodisch oder kontinuierlich ausgeprägt sein, die Bewegung kann entweder ungerichtet oder gerichtet sein (vgl. Eversheim 1989, S. 175).

Abbildung 2-22 gibt einen Überblick über die verschiedenen Organisationsformen in Abhängigkeit von der Art des Montageobjekts und des Montageplatzes. Die Auswahl der Montageorganisationsform, hängt von verschiedenen Kriterien ab. Eversheim nennt die Kriterien Kapazitätsbedarf, Stückzahl und Wiederholhäufigkeit (vgl. Eversheim 1989, S. 181). Da höhere Organisationsformen, also Formen mit bewegten Montageobjekten und/oder Montageplätzen, in der Regel mit höheren Investitionen verbunden sind, sollte eine ausreichende und gleichmäßige Kapazitätsauslastung erreicht werden.

		Montageobjekt	
		stationär	bewegt
Montageplatz	stationär	• Einzelplatzmontage • Baustellenmontage	• Werkstättenmontage • Reihenmontage • Taktstraßenmontage • Straßenmontage
	bewegt	• Gruppenmontage	• Kombinierte Fließmontage

Abbildung 2-22: Einordnung der Montageorganisationsformen
(In Anlehnung an Eversheim 1989 und Warnecke 1993)

Formen der Fließmontage erfordern einen ausreichenden Kapazitätsbedarf und hohe Stückzahlen, die es ermöglichen, mehrere Objekte gleichzeitig zu montieren. Aufgrund der geringeren montagetechnischen Flexibilität höherer Organisationsformen ist eine hohe Wiederholhäufigkeit ebenfalls entscheidend für deren Wirtschaftlichkeit. Weitere Kriterien sind Transportierbarkeit der Montageobjekte und der Betriebsmittel, die Unterteilbarkeit der Montageaufgabe in definierte Arbeitsschritte, die zeitliche Definierbarkeit der Arbeitsschritte und die Ausgleichsmöglichkeit von Störgrößen (vgl. Eversheim 1989, S. 179). Diese Kriterien stellen für eine niedrigere Organisationsform wie die Baustellenmontage keine notwendigen Voraussetzungen dar. Folglich ist die Baustellenmontage die ideale Organisationsform für große, schwere, in kleinen Stückzahlen montierte Produkte, deren Montage nicht definiert aufgeteilt werden kann und Anpassarbeiten erfordert.

Neben der Festlegung der Montageorganisationsform sind der Materialfluss und das Layout der Montage zu gestalten. Die Gestaltung des Materialflusses fällt je nach Organisationsform unterschiedlich aufwendig aus. Bei der Baustellenmontage gibt es beispielweise keine Ablaufalternativen, da keine definierte Arbeitsteilung stattfindet und beide Bewegungsgrößen stationär sind (vgl. Eversheim 1989, S. 175 und 183). Bei der Gruppenmontage sind Ablaufalternativen möglich, da sie durch eine definierte Arbeitsteilung und bewegte Montageplätze gekennzeichnet sind. Am aufwändigsten stellt sich die Gestaltung des Materialflusses bei der Fließmontage dar, da hier für einen reibungslosen sowie zeitlich und kapazitativ optimalen Ablauf der höchste Detaillierungsgrad notwendig ist. Im Rahmen der Layoutgestaltung ist die Anordnung der Arbeitsplätze zu gestalten. Bei der Baustellenmontage, muss dabei lediglich festgelegt werden, wie viele Arbeitsplätze nötig sind, um den produktspezifischen Kapazitätsbedarf unter Einhaltung der gewünschten Durchlaufzeit zu decken. Neben der Anordnung der Arbeitplätze sind die jeweiligen Arbeitsinhalte und die Verkettung der Stationen zu definieren. Eine weitere zu gestaltende Größe ist das in der Montage realisierte Ablaufprinzip. Beim stückweisen Montageablauf kann aufgrund der Größe nur ein Montageobjekt zur gleichen Zeit montiert werden. Demnach werden alle an diesem Arbeitsplatz auszuführenden Montageschritte nacheinander durchgeführt, bevor das nächste

Objekt montiert wird. Das Verrichtungsprinzip kommt bei kleinen Montageobjekten zur Anwendung, da von diesen mehrere gleichzeitig aufgelegt werden können. Die Auswahl des Ablaufprinzips hängt folglich nicht nur von der Organisationsform ab, sondern von der Produktgrundfläche und dem Produktionsvolumen.

Die Gestaltung des Mitarbeitereinsatzes ist eine weitere Größe im Bereich der Montagegestaltung. Durch eine geeignete Mitarbeitereinsatzgestaltung ist die Flexibilität in der Montage und damit auch die Kapazitätsauslastung zu steigern (vgl. Richter 2006, S. 99). Die Unterstützung eines flexiblen Mitarbeitereinsatzes erfolgt durch fortlaufende Fortbildungen der Montagemitarbeiter sowie breit angelegte Qualifikationen, um einen bedarfsweisen, variantenflexiblen Einsatz der Mitarbeiter garantieren zu können (vgl. Endörfer/Sauerland/Walch 2007, S 291). Die Steigerung der Mengenflexibilität in der Montage kann durch entsprechende Arbeitszeitmodelle, wie beispielsweise Gleitzeit und Schichtarbeit, erreicht werden.

Qualität wird als Leistungsmerkmal von Produkten und Prozessen betrachtet (vgl. Mai 2003, S. 925). Die qualitätsorientierte Gestaltung der Montage ist insbesondere vor dem Hintergrund der Qualitätsanforderungen der Kunden relevant (vgl. Wildemann 1997, S. 68 f). Unter qualitätsorientierter Montagegestaltung werden neben der Definition des notwendigen Prüfumfangs die Konzepte verstanden, die dazu beitragen, das Montageergebnis qualitativ zu optimieren. Dies beinhaltet beispielweise die Realisierung von Quality Gates entlang des Montageprozesses (vgl. Wildemann 2010h).

2.4.1 Konzepte zur Montagegestaltung

Zur Gestaltung der Bereitstellung in der Kleinserienmontage sind Konzepte geeignet, die die Anforderungen an die Mengen- und Variantenflexibilität beherrschen. Dabei sind sowohl Steuerungskonzepte wie Kanban oder JIT als auch Konzepte zur physischen Bereitstellung wie beispielsweise Warenkorbkonzepte und das Konzept des Supermarkts relevant. Kanban ist ein Konzept zur Verwirklichung des Hol-Prinzips in der Wertschöpfungskette (vgl. Wildemann 2010i, S. 7 ff). Wesentlicher Bestandteil des Konzepts sind gegenläufige

Material- und Informationsflüsse. Während das Material in Richtung der Wertschöpfung läuft, laufen die Informationsflüsse entgegengesetzt. Die verbrauchende Stelle (beispielsweise der Montagearbeitsplatz) gibt die Information an die liefernde Stelle (beispielsweise Teilefertigung), wenn sie Material zum Verbrauch benötigt. Ziel des Konzepts ist eine kundenauftragsbezogene Produktion und selbststeuernde Regelkreise. Der Anwendungsbereich des Kanban-Konzepts beschränkt sich dabei nicht auf die Produktion, sondern kann entlang der gesamten Wertschöpfungskette angewendet werden. Vorteile des Kanban-Konzepts sind die Reduktion von Beständen und damit von gebundenen Kapazitäten (vgl. Wildemann 1997, S. 466).

Das Just-in-Time-Konzept (JIT-Konzept) basiert auf dem Grundsatz einer vom Materialfluss ausgehenden Optimierung der logistischen Kette unter Berücksichtigung der Erfolgsfaktoren Produktivität, Zeit und Qualität (vgl. Wildemann 1997, S. 465 f). Das JIT-Konzept beinhaltet eine Anlieferung beziehungsweise Bereitstellung der zu bearbeitenden Teile zu dem Zeitpunkt, an dem sie benötigt werden. Die Teile werden dadurch im Idealfall ohne Zwischenlagerung verarbeitet. Eine bedarfsgerechte stückzahlgenaue Materialbereitstellung wird in der Regel bei den A-Teilen eines Produktes realisiert, da deren Bestände gering gehalten werden sollen (vgl. Nyhuis et al. 2006, S. 343). Die Verbesserungen durch die Realisierung von JIT zeigen sich beispielsweise in einem höheren internen und externen Servicegrad, wie beispielsweise kürzeren Reaktionszeiten und geringeren Änderungserfordernissen. Des Weiteren kann durch die Einführung von JIT die Auftragsdurchlaufzeit reduziert und die Kapitalproduktivität verbessert werden (vgl. Wildemann 1997, S. 470 ff).

Das Warenkorbkonzept beruht auf einer produktspezifischen Zusammenstellung von benötigten Montageteilen in einem „Warenkorb“, der das Montageobjekt begleitet (vgl. Vahrenkamp 2008, S. 107). Die Füllung der Warenkörbe erfolgt durch individuelle Kommissionierung der für die variantenspezifische Montage relevanten Komponenten. Die hervorgehende Erstellung einer Teileliste hilft dabei, auf die richtigen Komponenten zuzugreifen. Durch die Realisierung des Warenkorbkonzepts können häufige Laufwege zu Materialbereitstellungszonen deutlich reduziert und damit die Durchlaufzeit verringert wer-

den. Der Werker kann sich zudem in vollem Umfang auf die Montagereihenfolge und die Zusammen- oder Einbautätigkeit konzentrieren. Jedoch sind Großmodule wegen ihrer Abmessungen oder des Gewichts von der Montagebegleitung ausgeschlossen (vgl. Vahrenkamp 2008, S. 107).

Ein Konzept, das Bereitstellung und Steuerung vereint, ist das Supermarktkonzept. Beim „Supermarkt“ handelt sich um einen zentralen Platz für Halbfertigprodukte in der Fertigung. Nur wenn der nachgelagerte Prozess Teile aus dem „Supermarkt“ entnommen hat, wird in einer definierten Stückzahl vom vorgelagerten Prozess gefertigt. Im Rahmen des Supermarktkonzepts wird demzufolge nach dem Kanban-Prinzip gesteuert (vgl. Scheel/Chilian 2007, S. 308). Der Supermarkt wird insbesondere dann eingesetzt, wenn eine Verkettung von Arbeitsstationen oder Fertigungslinien über One-Piece-Flow nicht möglich ist. Vorteil des Supermarktkonzepts ist die Reduzierung von Beständen durch die verbrauchsgesteuerte Bereitstellung.

Neben der Bereitstellungsgestaltung ist die Ausgestaltung des Materialflusses und des Layouts Bestandteil der Montageplanung. Für die Einzel- und Kleinserienmontage sind insbesondere Konzepte relevant, die deren spezifischen Anforderungen, wie beispielsweise hohe Auftragsschwankungen handhaben können. Geeignete Konzept sind das U-Layout, One-Piece-Flow und die Fertigungssegmentierung. Der Gestaltungsansatz des U-Layouts ist dem Teilbereich der zur Materialfluss- und Layoutgestaltung zuzuordnen. Bei der Realisierung eines U-Layouts werden die Maschinen werden in Form eines "U" in der Reihenfolge der Arbeitsschritte angeordnet. Dabei liegen sich der Eingang und Ausgang der Teile gegenüber. Wenn möglich, sollten die Maschinen im äußeren Bereich platziert und die Arbeiter im Zentrum beschäftigt werden. Auf diese Weise kann man eine Isolation vermeiden und die gegenseitige Hilfe wird gefördert. Durch die U-förmige Anordnung kann die Anzahl der Arbeiter, die an einer U-Linie arbeiten, entsprechend dem Bedarf angepasst werden (vgl. Abb. 2-23). Bei geringem Bedarf wird die Zahl der Mitarbeiter reduziert: sie bedienen jeweils mehr Maschinen als bei großem Bedarf. Eine Erweiterung des U-Layouts erfolgt durch die Trennung von wertschöpfenden und nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten. Nicht-wertschöpfende Tätigkeiten, wie bei-

spielsweise die Materiallogistik, werden außerhalb des „U“ realisiert, um die Wertschöpfung innerhalb zu optimieren und Störungen zu vermeiden. Vorteile des U-Layouts sind eine vereinfachte Material- und Werkzeughandhabung und die Reduzierung von Transportwegen sowie eine Steigerung der Personaleinsatzflexibilität und die Steigerung von Teamwork (vgl. Syska 2006, S. 164).

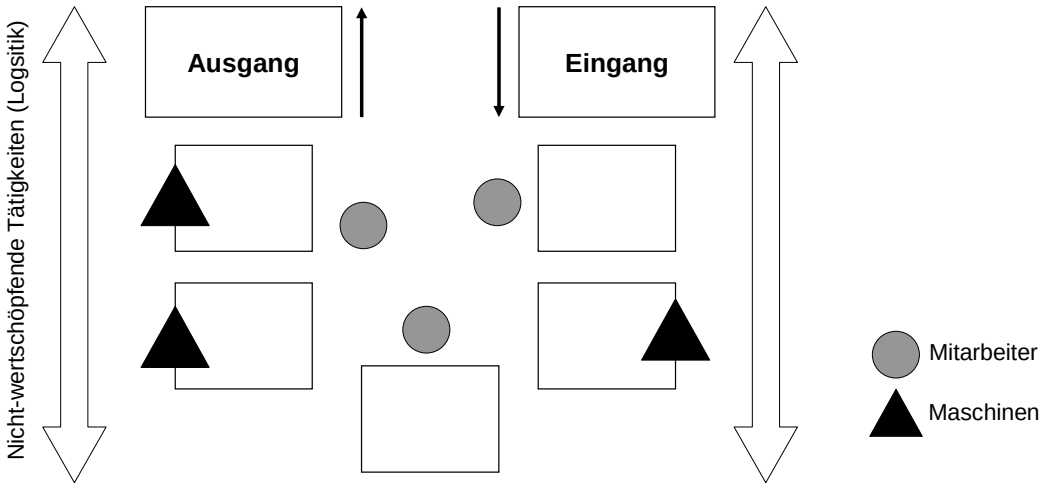


Abbildung 2-23: Prinzip des U-Layouts

Das Prinzip des One-Piece-Flow ist ein in der Kleinserienmontage häufig realisiertes Konzept. Beim One-Piece-Flow wird das Montageobjekt direkt nach der Bearbeitung an einer Montagestation zur nächsten Station transportiert, wobei das Prinzip auf einer Trennung von Fertigungs- und Transportlos beruht (vgl. Lödding 2008, S. 98 f). Mit One-Piece-Flow ist in der Regel eine hohe Mitarbeiterqualifikation verbunden. Mehrere Montageschritte sind durch den gleichen Mitarbeiter zu realisieren. Dies kann bis zur gänzlichen Montage eines Produkts durch nur einen Mitarbeiter führen. Ein wesentlicher Vorteil des Konzepts ist die Reduzierung von Durchlaufzeiten und die Steigerung der Mitarbeiterproduktivität. Bei einer Aufteilung des One-Piece-Flow auf mehrere Mitarbeiter gibt jedoch die langsamste Arbeitsstation die Taktzeit für die gesamte Montagelinie vor, was zu einer geringern Kapazitätsauslastung der schnelleren Arbeitsstationen führt (vgl. Lödding 2008, S. 100 f).

Das Konzept der Fertigungssegmentierung ist ein Organisationsprinzip in der Produktion, das darauf abzielt die Vorteile der Fließfertigung mit der hohen Flexibilität der Werkstattfertigung zu verbinden (vgl. Wildemann 1997, S. 225).

Die Fertigungssegmentierung basiert darauf, die Produktion in überschaubare eindeutig abgegrenzte Fertigungssegmente zu unterteilen. Die Fertigungssegmente werden produktorientiert gebildet und weisen einen hohen Grad an Kostenverantwortung auf. Zudem werden indirekte Funktionen, wie beispielsweise die Qualitätssicherung oder die Instandhaltung, in die Fertigungssegmente übertragen. Die positiven Wirkungen der Fertigungssegmentierung liegen in Bestands- und Flächenreduzierungen sowie einer Produktivitätssteigerung, der Verbesserung der Qualität und der Verkürzung von Durchlauf- und Lieferzeiten (vgl. Wildemann 2010j, S. 294 ff).

Im Bereich der Gestaltung des Mitarbeitereinsatzes sind für die Montage kleiner Serien Konzepte relevant, die sowohl die Mengen- als auch die Variantenflexibilität erhöhen. Beispiele für derartige Konzepte sind Gleitzeit, der Einsatz von Ampelkonten und die Realisierung kapazitätsorientierter variabler Arbeitszeit (KAPOVAZ). Gleitzeit ist ein klassischer Ansatz zur Flexibilisierung der Arbeitszeit (vgl. Haubrock/Öhlschlegel-Haubrock 2009, S. 164). Das Prinzip der Gleitzeit beruht dabei auf einer flexiblen Arbeitszeitverteilung. Es wird eine Kernarbeitszeit definiert, in der für den Arbeitnehmer Anwesenheitspflicht herrscht. Voraussetzungen für die Realisierung des Gleitzeitmodells sind geeignete Arbeitsprozesse (vgl. Haubrock/Öhlschlegel-Haubrock 2009, S. 165). In Unternehmen mit Fließfertigung kann das Modell nicht realisiert werden. Zudem ist in der Regel eine elektronische Erfassung der Zeit notwendig, um die Anwesenheitszeiten zu überprüfen. In der Kleinserienmontage eignet sich Gleitzeit insbesondere bei stark schwankenden Aufträgen. Die Anwesenheit wird dabei jedoch nicht allein durch den Arbeitnehmer sondern durch die Menge der zu leistenden Montagetätigkeiten bestimmt.

Ampelkonten sind ein Ansatz zur Steigerung der Flexibilität der Arbeitszeit. Grundlage des Modells ist die tariflich geregelte Arbeitsstundenwoche. Diese kann durch den Mitarbeiter flexibel gestaltet werden, indem der Mitarbeiter Freiraum über die Verteilung seiner Arbeitszeit erhält. Die Handlungsbedarfe der Mitarbeiter sind je nach Ampel-Phase, in der sich der Mitarbeiter befindet, unterschiedlich (vgl. Brödner/Katter 1999, S. 200). In der so genannten Grünphase (beispielsweise plus/minus 14 Stunden gegenüber der tariflichen Soll-

zeit) steuert der Mitarbeiter seine Arbeitszeit unter Berücksichtigung der betrieblichen Anforderungen eigenverantwortlich. In der Gelbphase (beispielsweise plus/minus 28 Stunden) informiert der Mitarbeiter seinen Vorgesetzten und stimmt mit ihm die Rückführung in die Grünphase ab. Die kann durch Freizeitausgleich oder zusätzliche Arbeitszeiten erfolgen. In der Rotphase (beispielsweise über 35 Stunden Abweichung) vereinbaren Vorgesetzter und Mitarbeiter Zeitraum und Maßnahmen, um die Arbeitszeiten in die Grünphase zurückzuführen. Aufgrund der Flexibilisierungsmöglichkeiten eignen sich Ampelkonten insbesondere für saisonal oder projektbezogen stark schwankende Arbeitszeiten.

Das Arbeitszeitmodell KAPOVAZ ist die Abkürzung für Kapazitätsorientierte variable Arbeitszeit. KAPOVAZ steht für die Ableistung einer im Umfang fest vereinbarten Arbeitszeit auf Abruf (vgl. Schuh/Schultes-Jaskolla/Stitzel 2001, S. 124). Für die Mitarbeiter ist damit im Extremfall eine ständige Arbeitsbereitschaft verbunden. In produzierenden Unternehmen geht man in der Regel von einem starren Arbeitszeitsystem mit festen Arbeitszeiten aus. Für bestimmte befristete Perioden im Rahmen einer Arbeitszeitflexibilisierung wird jedoch die variable Arbeitszeit realisiert. Dadurch können Unternehmen sehr flexibel auf saisonale Schwankungen reagieren. Der Arbeitgeber kann die Dauer der geleisteten Arbeitszeit seiner Mitarbeiter flexibel an den jeweiligen Bedarf anpassen. Man kann KAPOVAZ auch als Jahresteilzeit bezeichnen. Gegenüber der klassischen Variante der Teilzeitarbeit ermöglicht diese Form der Abrufarbeit jedoch eine erheblich höhere Flexibilität des Arbeitgebers. Bei der Gestaltung von KAPOVAZ zwischen Arbeitnehmern und Arbeitgebern wird häufig auf Basis der vereinbarten regelmäßigen wöchentlichen Arbeitszeit ein erhöhtes Entgelt vereinbart.

Konzepte zur qualitätsorientierten Gestaltung der Montage sind im Rahmen der Qualitätssicherung in der Produktion relevant. Maßnahmen zur Realisierung einer hohen Produktqualität sind Qualitätskontrolle durch Automatisierung, Qualitätssicherung durch Selbstkontrolle, Qualitätssicherung durch Prozesskontrolle und Qualitätssicherung durch begleitendes Prozessdesign (vgl. Wildemann 1997, S. 75 ff). Die im Rahmen dieser Maßnahmen zu gestalten-

den Konzepte sind beispielsweise die Selbstkontrolle der Montagequalität, Quality Gates und Definition des Prüfungsumfangs. Das Prinzip der Selbstkontrolle der Montagequalität basiert auf dem Grundsatz der Eigenverantwortlichkeit der Mitarbeiter (vgl. Wildemann 1998b, S. 340). Die Montagemitarbeiter sind dabei selbst für die Qualität des von ihnen durchgeführten Montageschritts verantwortlich. Voraussetzung für die Realisierung der Selbstkontrolle der Montagequalität sind ausreichend prüffreundlich gestaltete Montageobjekte. Zudem sind die Mitarbeiter bezüglich der Prüftätigkeiten zu qualifizieren. Die Realisierung der Selbstkontrolle der Qualität führt zu einer Reduzierung von separaten Prüfstellen mit ausgebildeten Mitarbeitern zur Überprüfung der Montagequalität. Insbesondere die Kombination der Selbstprüfung mit Qualitätsregelkarten führt zu hohen Erfolgen. Durch die Anwendung des Prinzips werden sowohl Personalkosten als auch Transportaufwände reduziert und die Durchlaufzeiten in der Montage werden verringert.

Quality Gates sind ein Berichts- und Entscheidungsinstrument zur Qualitätssicherung in Entwicklung und Produktion (vgl. Wildemann 2010k). Quality Gates stehen dabei für Meilensteine, an denen Kosten, Qualität und Zeit quantifiziert und überprüft werden. Als Qualitätsmesspunkte dienen sie somit zur Nachhaltung und Synchronisation der Zielerreichung zwischen Prozessfortschritt und zu erreichendem Ergebnis. Am Ende jedes definierten Fertigungsabschnitts findet eine zusätzliche Qualitätsprüfung an einem Quality Gate statt. Das Qualitätstor stellt sicher, dass ein fehlerfreies Produkt an den folgenden Bereich übergeben wird.

Im Rahmen der Gestaltung der Qualitätsorganisation der Montage ist der Prüfumfang der montierten Produkte festzulegen. Dabei kann zwischen Voll- und Stichprobenprüfung unterschieden werden. Unter Vollprüfung oder auch 100%-Prüfung wird die vollzählige Überprüfung aller in einem Los hergestellten Produkte in Bezug auf die vorgegebenen Prüfmerkmale verstanden (vgl. Kamiske/Brauer 2008, S. 392). Eine 100%-Prüfung ist zu realisieren, wenn Produkte oder die Montageverfahren neu umgesetzt wurden und demzufolge noch nicht stabil laufen. Zudem wird eine 100%-Prüfung realisiert, wenn die Fehlerfolgekosten die Prüfkosten wesentlich übersteigen. Zwingend notwen-

dig ist die Vollprüfung bei lebenswichtigen Teilen. Ein weiterer Grund für die Vollprüfung sind gesetzliche Vorschriften sein oder die unbekannte Qualität einer Charge. Die Stichprobenprüfung ist eine Prüfung, bei der nur eine Auswahl von Prüfungsobjekten (Stichprobenelemente) aus der Menge des Prüfungskomplexes (Grundgesamtheit) geprüft wird. Das Gesamturteil bezüglich der Gesamtqualität wird durch das Schließen von dem Zustand der geprüften Objekte der Stichprobe auf den wahrscheinlichen Zustand sämtlicher Objekte der Grundgesamtheit gewonnen (vgl. Kamiske/Brauer 2008, S. 319). Stichprobenprüfungen sind nur einsetzbar, wenn keine vollkommene Sicherheit über die Qualität der Grundgesamtheit gefordert ist. Wesentlicher Vorteil der Stichprobenprüfung ist der geringere Kostenaufwand zur Prüfung der Grundgesamtheit, als bei der Vollprüfung.

Im Hinblick auf die Anforderungen der Kleinserienmontage erfolgt eine auf den Analysen basierende, qualitative Einordnung der Ansätze hinsichtlich ihrer Flexibilität. Dazu werden die Gestaltungsansätze bezüglich der beiden, in der Kleinserienmontage relevanten Flexibilitätsziele „Steigerung der Mengenflexibilität“ und „Steigerung der Variantenflexibilität“ beurteilt (vgl. Abb. 2-24).

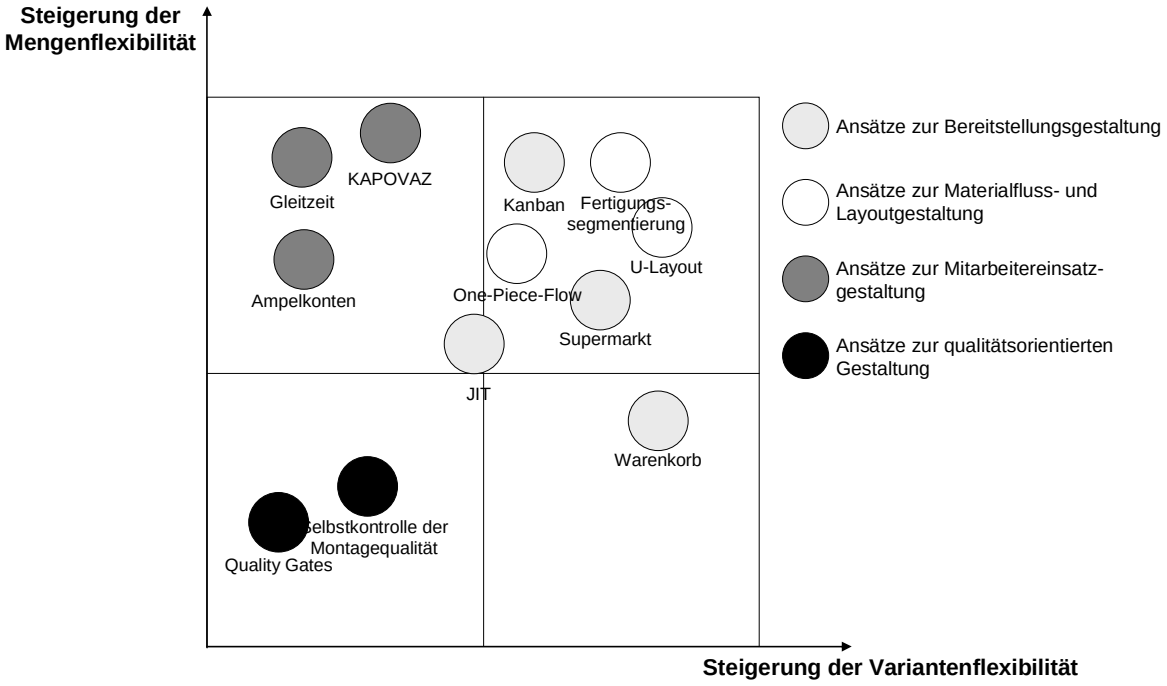


Abbildung 2-24: Flexibilitätswirkungen der Ansätze zur Montageobjektgestaltung

Die Einordnung der Konzepte zeigt, dass die Konzepte zur Mitarbeitereinsatzgestaltung insbesondere zur Steigerung der Mengenflexibilität geeignet sind. Die Ansätze im Bereich der Bereitstellung- und Materialflussgestaltung erhöhen sowohl die Mengen- als auch Variantenflexibilität. Konzepte zur qualitätsorientierten Gestaltung sind demgegenüber gering zur Steigerung der Flexibilität geeignet. Vielmehr dienen diese Ansätze zur Erhöhung der Produkt- und Prozessqualität.

2.4.2 Methoden zur Montagegestaltung

In Literatur und Praxis werden unterschiedliche Methoden und Instrumente zur Unterstützung bei der Montagegestaltung genannt. Bei der Methodenauswahl wird zwischen Methoden zu Bereitstellungs-, zur Materialfluss-, zur Mitarbeitereinsatz- und zur Qualitätsgestaltung unterschieden. Ein Teil der Methoden eignet sich dabei für mehrere Gestaltungsbereiche. Zur Gestaltung der Bereitstellungsform eignen sich Methoden und Instrumente, die den Materialfluss vom Lieferanten zur Montage betrachten sowie Methoden, die Probleme bei der Bereitstellung an der Montagestation identifizieren. Mögliche Methoden sind die Wertstromanalyse und die Schnittstellenanalyse, wobei beide Methoden auch zur Unterstützung der Materialflussgestaltung geeignet sind. Das Ziel der Wertstromanalyse ist die Erreichung eines kontinuierlichen Materialflusses, um eine kundenorientierte, schlanke Wertschöpfung zu realisieren (vgl. Arnold/Furmans 2009, S. 259 ff). Über den Wertstrom lassen sich Wertwachstum und Wertvernichtung übergreifend erfassen und liefern Ansatzpunkte für die ganzheitliche Optimierung der Prozesse. Hierbei wird nicht nur mit dem Materialfluss gearbeitet, sondern auch der Informationsfluss betrachtet und entworfen. Das Verfahren bildet im ersten Schritt den Ist-Zustand des Material- und Informationsflusses ausgehend vom Endkunden über die Produktion bis zum Lieferanten ab. Im zweiten Schritt wird ein Wertstrom ausgearbeitet, bei dem die nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten eliminiert sind. Die Erarbeitung des Ist-Prozesses erfolgt gemeinsam mit den Mitarbeitern der beteiligten Bereiche und der Prozess wird mithilfe standardisierter Symbole bildlich erfasst. Positive Wirkungen der Wertstromanalyse sind die Verkürzung von Durchlaufzeiten durch die Verkettung von Prozessen sowie die Reduzierung

von Beständen und Ausschuss.

Die Arbeitsteilung zur Bewältigung der Prozesse Produktentstehung, Auftragsabwicklung und Materialbeschaffung führen in der Anlaufphase automatisch zur Bildung von organisatorischen Schnittstellen. Die Schnittstellenanalyse kann prinzipiell für alle Prozessarten eingesetzt werden, eignet sich aber besonders für Prozesse mit hoher Komplexität und Bedeutung für den Unternehmenserfolg. Zielsetzung der Schnittstellenanalyse im Anlauf ist die Ermittlung kritischer Schnittstellen im Zusammenspiel dieser Hauptprozesse und die Identifikation von Problemen, die durch Ineffizienzen in der Informationsweitergabe an den Prozessschnittstellen entstehen. Zur Erstellung der Schnittstellenübersicht wird eine Liste gebildet, in der die Schnittstellen für den betrachteten Prozess aufgelistet werden. Es wird jeweils beschrieben, was an der jeweiligen Schnittstelle übergeben wird und wie die Übergabe erfolgt (können (vgl. Wagner/Patzak 2007, S. 152 f). Die Schnittstellenanalyse unterstützt bei der Identifikation von Verschwendungen an den Schnittstellen zwischen Prozessen.

Methoden, die vor allem zur Layout- und Materialflussgestaltung eingesetzt werden, sind beispielweise das Dreiecksverfahren nach Schmigalla und das Kreisverfahren nach Schwerdtfeger. Das Dreiecksverfahren nach Schmigalla zählt zu den konstruktiven Anordnungsverfahren, in dem als Auswahlkriterium das Betriebsmittel mit der größten Transportintensität zu allen bereits angeordneten Betriebsmitteln bestimmt wird (vgl. Schmigalla, 1970). Im Rahmen der Anordnung werden die Betriebsmittel, die die stärksten Transportbeziehungen zueinander aufweisen, an den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks platziert. Ausgangsbasis des Dreiecksverfahrens bildet die Transportmatrix, die die Transportintensitäten zwischen den Betriebsmitteln aufzeigt (vgl. Hahn/Laßmann 1993, S. 296 f). Im Anschluss an die Anordnung muss das Ergebnis häufig unter Berücksichtigung von Planungsfixpunkten, welche aufgrund von wirtschaftlichen oder behördlichen Gründen entstehen, (etwa aufgrund von Gewicht einer Maschine, Abhängigkeit von einer besonderen Infrastruktur) angepasst werden.

Das Kreisverfahren nach Schwerdtfeger ist ein graphisches Zuordnungsver-

fahren, das mathematisch Anordnungen optimiert. Bei diesem Verfahren werden die Abteilungen oder Betriebsmittel auf einem Kreis oder den Eckpunkten eines Vielecks angeordnet und die Beziehungen zwischen ihnen durch Pfeile oder Verbindungslinien dargestellt (vgl. Grundig 2009, S. 166 f). Durch Umgruppierungen wird versucht, eine Anordnung zu erreichen, bei der die Einheiten mit den intensivsten Transportbeziehungen möglichst dicht beieinander liegen und die mengenmäßig wichtigen Beziehungen nicht quer durch den Kreis verlaufen, sondern linienförmig auf dem Kreisumfang angeordnet sind. Das Verfahren lässt damit auch erste Rückschlüsse auf die Möglichkeit einer Linienauslegung der Fertigung zu.

Die Methoden Benchmarking und Auditierung eignen sich aufgrund ihrer Universalität für alle vier Gestaltungsbereiche. Benchmarking ist eine Methode zum Vergleich von Produkten, Dienstleistungen, Prozessen und Methoden betrieblicher Funktionen über mehrere Unternehmen hinweg und erfolgt sowohl branchen- als auch wettbewerbsübergreifend (vgl. Wildemann 2010l, S. 43). Benchmarking erfolgt entlang eines systematischen Prozesses und dient der Identifikation von Bestlösungen durch Vergleichen der eigenen Leistungen mit den entsprechenden Bestleistungen und des Lernens daraus (vgl. Sabisch/Tintelnot 1997, S. 12). Benchmarking wird in mehreren Schritten durchgeführt: Zuerst erfolgt das Erkennen von Unterschieden in relevanten Faktoren und die Spezifikation der Ursachen von Leistungslücken.

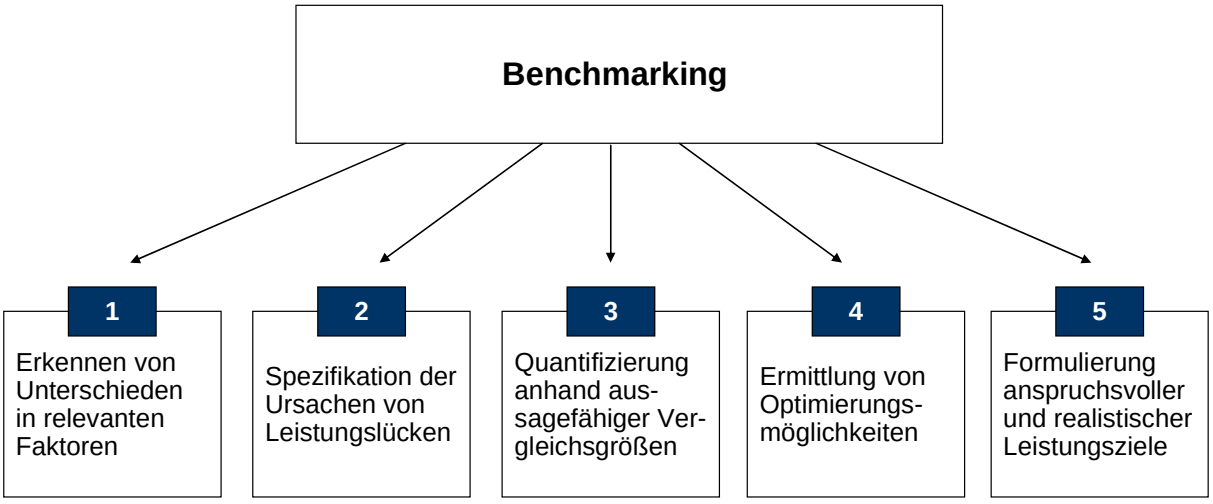


Abbildung 2-25: Kennzeichen des Benchmarkings (Wildemann (2010l), S. 43)

Des Weiteren wird die Quantifizierung anhand aussagefähiger Vergleichsgrößen vorgenommen und die Ermittlung von Optimierungsmöglichkeiten. Zuletzt werden anspruchsvolle, realistische Leistungsziele abgeleitet. Vorteil des Benchmarkings ist dessen große Einsatzbreite. Es kann in allen Bereichen der Produkt- und Montagegestaltung eingesetzt werden. Jedoch können Schwierigkeiten bei der Identifikation und Auswahl eines geeigneten Benchmarkingpartners auftreten.

Ein Audit ist eine systematische unabhängige Untersuchung, um festzustellen, ob geplante Tätigkeiten und die erzielten Ergebnisse den geplanten Anforderungen entsprechen und ob diese Anforderungen tatsächlich verwirklicht und geeignet sind, die Ziele zu erreichen. Audits sind auf beliebige Teilprobleme anwendbar. Je nachdem wer das Audit durchführt werden die Audit-Formen internes und externes Audit unterschieden. Das interne Audit ist ein Managementwerkzeug der Unternehmensleitung zur internen Beurteilung. Das externe Audit dient der Beurteilung der Qualitätsfähigkeit eines Unternehmens durch eine unternehmensfremde Stelle. Der typische Auditablauf umfasst folgende Phasen:

- Identifizierung von Prüffragen,
- Systematisierung der Prüffragen,
- Operationalisierung (Festlegung von Kriterien für die Beantwortung von Prüffragen),
- Ermittlung qualitativer Maßstäbe,
- Quantifizierung (soweit möglich) und
- Gesamtbewertung

Zur qualitätsorientierten Montagegestaltung können die Methoden Prozess-FMEA und der Ansatz des 6-S eingesetzt werden. Diese Methoden legen den Fokus auf die Vermeidung und Reduzierung von Fehlern im Prozess und am Produkt. In Bezug auf die Problematik der Fehlervermeidung in der planeri-

schen Phase des Produktentstehungsprozesses fordert die Norm DIN ISO 9004 für das Qualitätselement Entwicklung die "periodische Entwurfsbewertung an signifikanten Entwicklungsstufen" und gibt als Methode unter anderem die Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (FMEA) an. Mit Hilfe der FMEA ist es möglich, das in einem Unternehmen vorliegende Erfahrungswissen über Fehlerzusammenhänge und Qualitätseinflüsse auf systematische Weise zu sammeln und damit verfügbar zu machen. Die Prozess-FMEA setzt die Analyse der Fehlermöglichkeiten aus der Sicht der Fertigung fort (vgl. Kamiske/Brauer 2008, S. 78). Hierzu wird die FMEA nach der Erstellung der Arbeitspläne zur Herstellung des Produkts durchgeführt. Die Zielsetzung lautet hier, die Schwachstellen in den Montageplänen aufzudecken, die möglicherweise zu Fehlern führen werden, ihre Schwere zu bewerten und gegebenenfalls geeignete Abstellmaßnahmen vorzuschlagen. Ziel der Prozess-FMEA ist sowohl die Steigerung der Prozess- als auch der Produktqualität.

Die Methode 6-S dient der Reduzierung von nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten und Verschwendung. Die Methode wirkt auf Mitabeiterebene, indem durch die Mitarbeiter Verschwendungen in ihrem Arbeitsumfeld identifiziert und durch geeignete Maßnahmen reduziert werden. 6-S ist ein wesentlicher Baustein der Kaizen-Philosophie und hilft, die Arbeitsabläufe schlank zu halten. Folgende Determinanten werden durch das Konzept beschrieben:

- Seiri - Sortiere aus!
- Seiton - Stelle ordentlich hin!
- Seiso - Säubere!
- Seiketsu - Sauberkeit bewahren!
- Shitsuke - Selbstdisziplin üben!
- Shukan - Sich daran gewöhnen!

Ein häufig genanntes Beispiel für 6-S ist die Definition und Einhaltung definierter Ablageplätze für Montagegeräte wie beispielsweise Schraubendreher.

Die aufgezeigten Methoden werden auf Basis ihrer Einsatzmöglichkeiten im Unternehmen eingeteilt. Dazu werden die Methoden qualitativ in einem Portfolio mit den Achsen „Methodenverantwortung organisationsübergreifend“ und „Methodenverantwortung Montageplanung“ (vgl. Abb. 2-26). Die Darstellung verdeutlicht, dass Methoden wie das Dreiecksverfahren nach Schmigalla nur zur Planung des Layouts und des Materialflusses eingesetzt werden kann. Weitere Methoden, wie beispielsweise Benchmarking oder 6-S sind in mehreren Unternehmensbereichen einsetzbar. Die Prinzipien des 6-S eignen sich sowohl für den Produktionsbereich als auch für die Bürogestaltung in indirekten Bereichen. Die jeweilige Verankerung der Methodenverantwortung ist abhängig vom Einsatzbereich und der Organsiation im Unternehmen zu definieren.

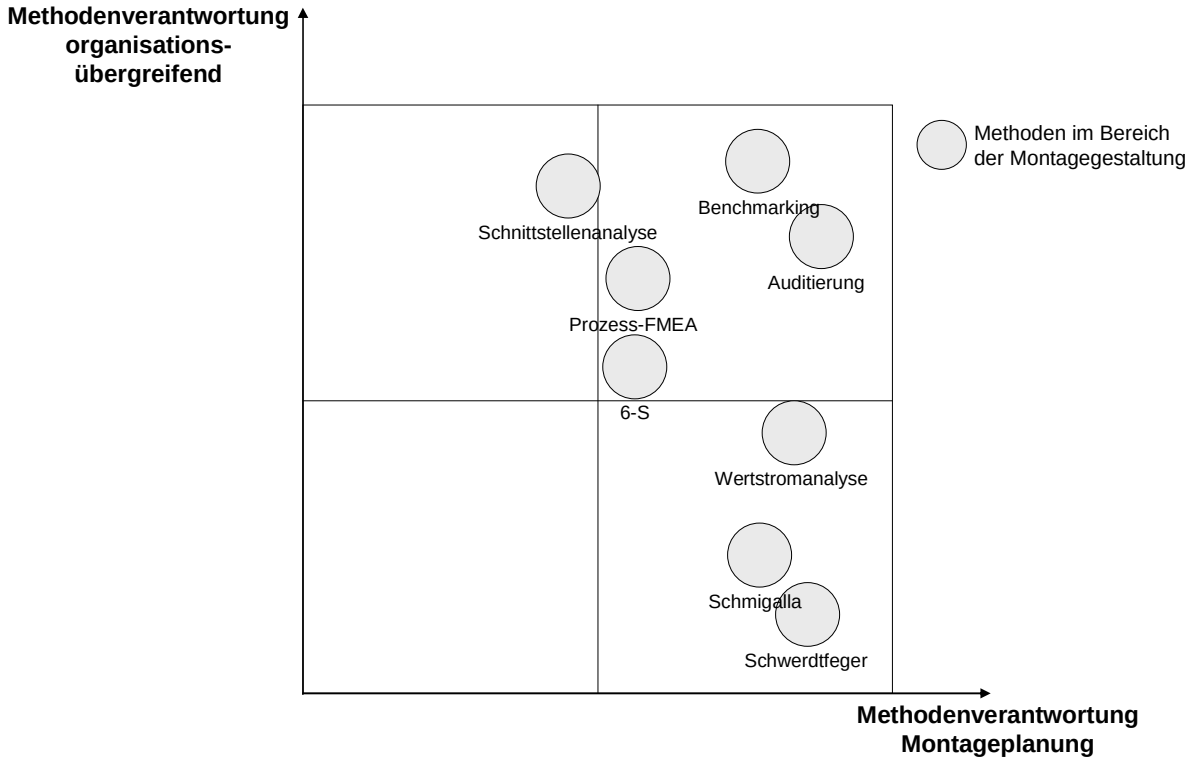


Abbildung 2-26: Einteilung der Methoden zur Montagegestaltung nach Verantwortungsbereich

2.5 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die traditionelle Wirtschaftlichkeitsdefinition beruht auf monetär messbaren Größen und somit einer monetären Wirtschaftlichkeitsberechnung. Dieser De-

finition liegen Produktivitäts- und Rentabilitätsüberlegungen zu Grunde. Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit werden diejenigen Kosten- und Nutzenwerte herangezogen, die in rechenbaren Größen ausdrückbar sind (vgl. Niggl/Edfelder/Kraupa 2000, S. 119). Demgegenüber werden bei der erweiterten Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht monetäre Auswirkungen ermittelt. Dies erfolgt auf Basis von nicht direkt monetär messbaren Zielgrößen (vgl. Zangemeister 2000, S. 1). Mögliche Zielgrößen der erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung sind beispielsweise Zeit-, Flexibilitäts- und Qualitätsgrößen. Die Zielgrößen der traditionellen und der erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung sind in Abbildung 2-27 gegenübergestellt.

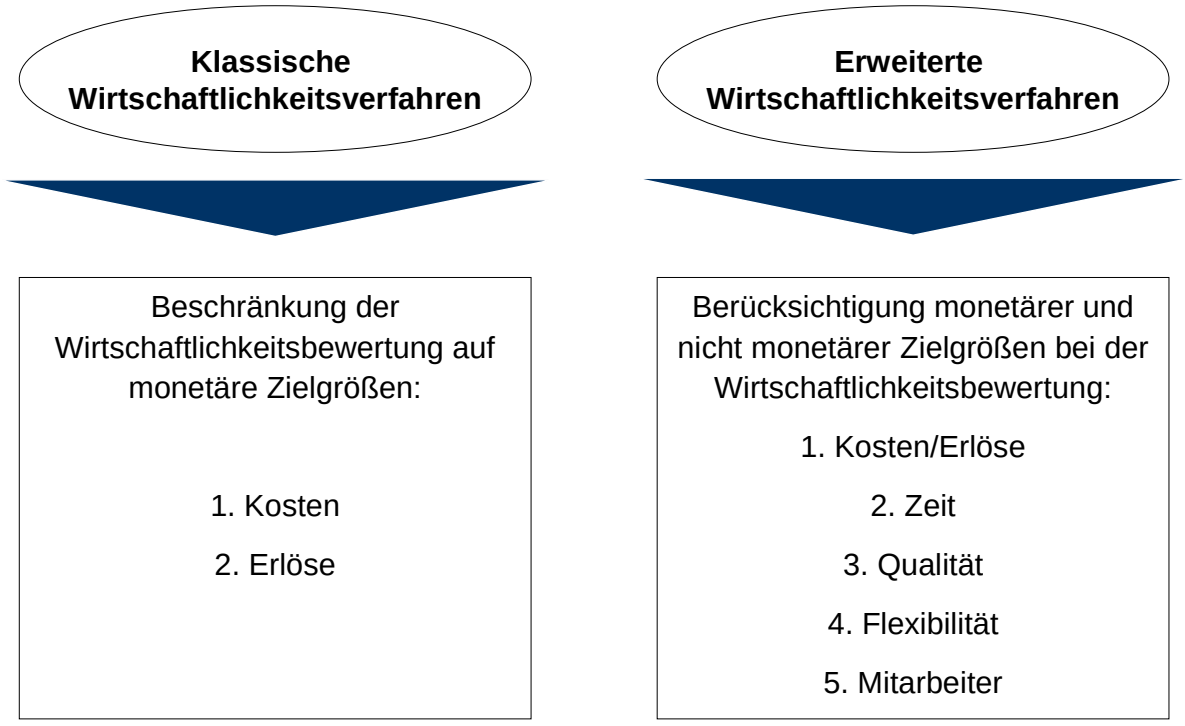


Abbildung 2-27: Klassische und erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung
(In Anlehnung an Niggl/Edfelder/Kraupa (2000), S. 120)

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von neuen Montagekonzepten werden sowohl Methoden der traditionellen als auch der erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung herangezogen. Diese Methoden werden je nach Erkenntnisfortschritt und Ziel im Rahmen der Montagekonfigurationsbewertung eingesetzt. Ausgehend von der Zielsetzung, die Montage zur optimieren, werden die Methoden Nutzwertanalyse, Kosten-Nutzen-Analyse, Kostenvergleichsrechnung, Break-Even-Analyse und Rentabilitätsrechnung auf Basis eines Ent-

scheidungsprozesses in Zusammenhang zueinander gebracht.

Basis der Wirtschaftlichkeitsbewertung im erweiterten Sinn bildet die Ausgestaltung eines Zielsystems. Die Entscheidung für oder gegen ein Montagekonzept basiert auf einer Bewertung der damit zu erreichenden Ziele. Dazu ist ein Zielsystem für die Montagekonfiguration auszugestalten. Neben den Kosteneinsparungen und Ertragssteigerungen sind im Rahmen der Montagebewertung Flexibilitäts- und Qualitätssteigerungen sowie die Verbesserung von Montagezeiten zu berücksichtigen.

<table>
<tr><th>AKTIVA</th><th>PASSIVA</th></tr>
<tr><td rowspan="2">I. Innenwirkungen
• Standardisierung
• Qualitätssteigerung
• Reduzierung der Durchlaufzeit
• Steigerung der Liefertreue
• Reduzierung von Konstruktionsfehlern
• Transparenz in der Montage
• Behebung von Engpässen</td><td>I. Innenwirkungen
• Geringe Kontrolle der Einsparung
• Finanzielles Risiko
• Einführungsrisiko
• Arbeitsplatzgestaltung
• Akzeptanz der Mitarbeiter</td></tr>
<tr><td rowspan="2">II. Außenwirkungen
• Lieferverzögerungen
• Umsetzungskapazität
• Zulieferprobleme</td></tr>
<tr><td>II. Außenwirkungen
• Qualitätssteigerung
• Schnelle Reaktion auf Kundenwünsche
• Schnelle Marktanpassung
• Imageeffekt</td><td>III. Argumentengewinn des neuen Montagekonzepts</td></tr>
</table>

Abbildung 2-28: Argumentenbilanz (In Anlehnung an Wildemann (1987), S. 66)

Die Veränderungen aller genannten Größen durch die Umgestaltungen und Investitionen sind aufgrund der Interdependenzen mit anderen Unternehmensbereichen nicht gänzlich erfassbar (vgl. Wildemann 1987, S. 64). Jedoch können nicht monetär bezifferbare Wirkungen in einer Argumentenbilanz berücksichtigt werden (vgl. Abb. 2-28). Die Bewertung der Montagekonzepte hat dabei auf Basis derer zentraler Eigenschaften zu erfolgen. Eigenschaften neuer Montagekonzepte sind beispielsweise deren Flexibilität sowie deren Kundenfreundlichkeit durch hohe Qualitätsergebnisse und geringe Durchlaufzeiten. Durch die Einführung von neuen Montagekonzepten und -technologien ändern sich die quantitativen, qualitativen und zeitlichen Kapazitäten sowie die

Flexibilität des Montagesystems (vgl. Wildemann 1987, S. 64).

Bei der Ermittlung einer geeigneten Gesamtlösung müssen auf der einen Seite die zusätzlichen Kosten den Wirkungen gegenübergestellt werden. Zudem muss die Effizienz der neuen Konzepte an den erwarteten Kosten- und Leistungsveränderungen gemessen werden. Die Höhe der Leistungsänderungen wird durch die konstruktiven, montagetechnischen, personellen und organisatorischen Bedingungen im Unternehmen festgelegt (vgl. Wildemann 1987, S. 67 ff).

Den strukturellen Rahmen von Investitionsentscheidungen bildet ein Entscheidungsprozess, in dem die einzelnen Phasen der Entscheidung sequenziell abgebildet werden (vgl. Wildemann 1985, S. 61). Der Entscheidungsprozess zur Realisierung neuer Montagekonzepte inklusive der Zuordnung der Methoden zur Wirtschaftlichkeitsbewertung lässt sich in 4 Phasen unterteilen:

1. Problemstellungsphase: Anpassung der Montage ist aufgrund geänderter Zielkriterien, der Einführung neuer Produkte oder einer gesteigerten Nachfrage notwendig.

2. Gegenüberstellung von Kosten und Erträgen: Bewertung der Zusatzkosten durch Produktanpassungen und Einführung des neuen Montagekonzepts und Ermittlung der zusätzlichen Erträge und/oder Kosteneinsparungen:

    - Ermittlung geeigneter Maßnahmen und Investitionen zur Produktgestaltung unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten.

    - Ermittlung notwendiger Investitionen in den Montageprozess unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten.

3. Kundenzahlabhängige Montagekonfiguration: Berücksichtigung der Absatzzahlen bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung.

4. Entscheidungsphase: Entscheidung für oder gegen das neue Montagekonzept.

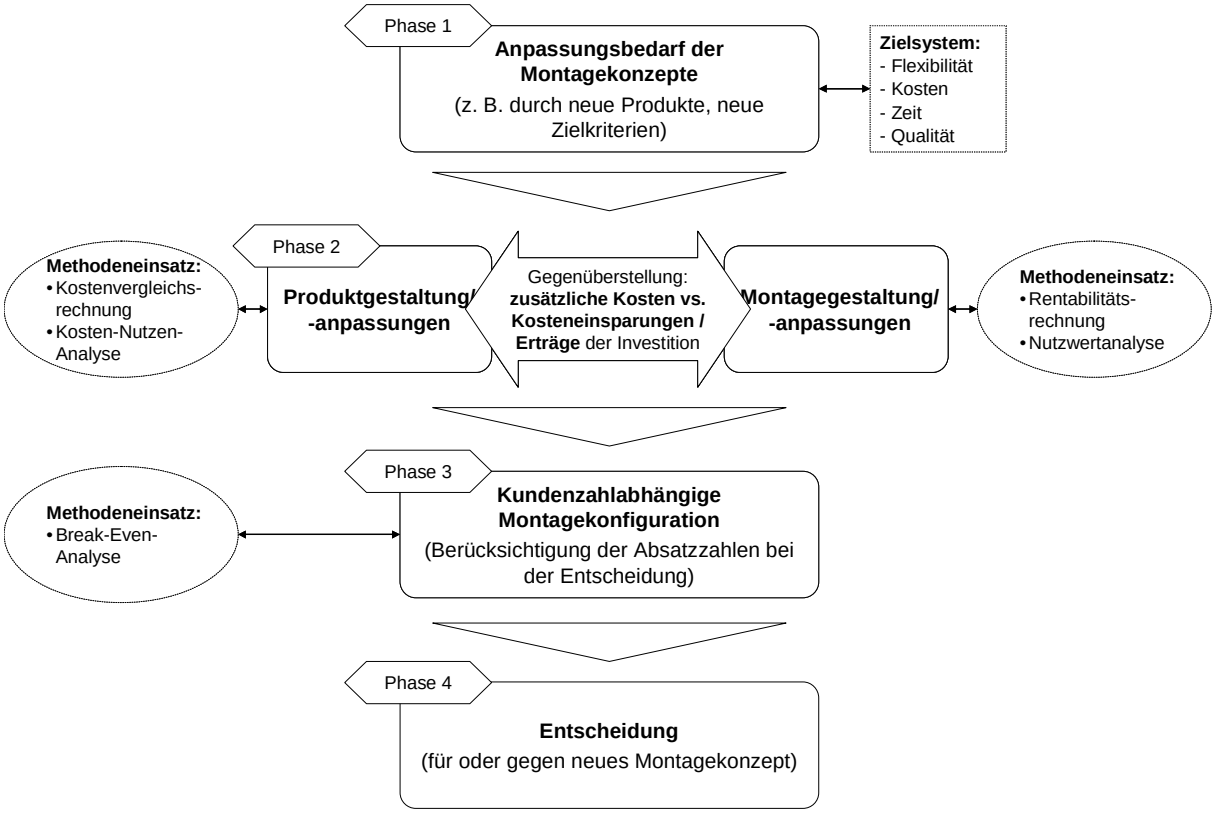


Abbildung 2-29: Entscheidungsprozess zur Wirtschaftlichkeitsbewertung neuer Montagekonzepte

In Abbildung 2-29 ist der Entscheidungsprozess visualisiert und den Entscheidungspunkten sind jeweils geeignete Methoden zur Bewertung der zusätzlich anfallenden Kosten und der Nutzenwirkungen zugeordnet.

Zur Bewertung der Produktanpassungen sind die beiden Methoden Kostenvergleichsrechnung und Kosten-Nutzen-Analyse geeignet. Die Kostenvergleichsrechnung ist ein statisches Verfahren der Investitionsrechnung und ermöglicht es, die Vorteilhaftigkeit von verschiedenen Investitionsalternativen zu bewerten. Dabei werden die in einer Periode durchschnittlich auftretenden Kosten den Investitionen gegenüber gestellt (vgl. Kruschwitz 2003, S. 32). Dabei berücksichtigt die Kostenvergleichsrechnung die erwarteten Rückflüsse der Investitionen nicht. Um eine Kostenvergleichsrechnung durchführen zu können, müssen die Daten der zu tätigenden Investitionen verfügbar sein (vgl. Steinmüller 2000, S. 208). Dabei sind alle anfallenden Kosten, wie beispielsweise auch die Betriebskosten zu berücksichtigen. Zudem werden die gesamten Kapitalkosten in die Berechnung einbezogen. Wenn alle relevanten Kosten

ermittelt wurden, wird diejenige Alternative als vorteilhaft gewählt, die die geringsten Kosten verursacht. Vorteile der Kostenvergleichsrechnung sind die einfache Rechensystematik sowie die einfache Anwendbarkeit in der Praxis (vgl. Jaspersen 1997, S. 33). Der wesentliche Nachteil der Methode ist, dass die erwarteten Rückflüsse und deren Rückflusszeitpunkt nicht berücksichtigt werden.

Die Kosten-Nutzen-Analyse ist eine statistische Methode, die den wirtschaftlichen Nutzen eines Projekts den monetären Aufwendungen gegenüberstellt (vgl. Sieg 2007, S. 320). Dabei können auch mehrere Alternativprojekte miteinander verglichen werden. Ziel ist die Ermittlung derjenigen Alternativem, die das günstigste Verhältnis aus Kosten und Nutzen aufweist. Bei der Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse müssen sowohl die Kosten als auch der Nutzen monetär ausgedrückt werden. Bei der Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse ist folgender Prozess zu durchlaufen (vgl. Drews/Hillebrand 2010, S. 95): Definition des Problemfelds, Festlegung der zu bewertenden Alternativen, Beschreibung der Einzelziele, Auswahl geeigneter Beurteilungskriterien, Festlegung von Bewertungsmaßstäben und Alternativenbewertung. Die Vorteile der Methode sind ihr relativ geringer Zeitaufwand und die hohe Transparenz des Rechenmodells. Zudem können auch qualitative Kriterien monetär berücksichtigt werden. Nachteil ist, dass die Nutzenarten nicht immer sinnvoll monetär gemessen werden können (vgl. Drews/Hillebrand 2010, S. 98 f). Zielgrößen, wie beispielsweise die Qualität oder Durchlaufzeiten können demzufolge nur unzureichend berücksichtigt werden.

Im Bereich der Montageprozessgestaltung sind die Methoden Rentabilitätsrechnung und Nutzwertanalyse von Bedeutung. Bei der Rentabilitätsrechnung werden die Kosten und Erlöse der Investition um den Wert des eingesetzten Kapitals ergänzt (vgl. Heyde et al. 1991, S. 141). Die Berücksichtigung des eingesetzten Kapitals ist vor allem dann relevant, wenn für die verschiedenen Investitionsvorhaben unterschiedliche Kapitaleinsätze getätigt werden müssen (vgl. Wöhe 2005, S. 597 f). Die Rentabilität wird folgendermaßen berechnet (vgl. Thommen/Achleitner 2006, S. 621 f): Gewinn / durchschnittlich gebundenes Kapital. Wenn mehrere Projekte bewertet werden, wird das Projekt aus-

gewählt, das die höchste Rentabilität aufweist. Grundsätzlich gilt, dass Investitionsprojekte mit einer positiven Nettorentabilität oder einer Bruttorentabilität, die größer als die Zinskosten ist, vorteilhaft sind (vgl. Schierenbeck 2003, S. 350). Vorteil der Rentabilitätsrechnung ist die Berücksichtigung der Investitionssumme bei der Investitionsrechnung. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Ergebnisgrößen ins Verhältnis zum Einsatz zu stellen (vgl. Wöhe 2005, S. 1062). Außerdem können Kostenersparnisse anstatt Gewinne beurteilt werden. Nachteilig ist, dass das die Rentabilitätsrechnung die Laufzeit und den Gewinn nicht berücksichtigt. Daraus resultiert, dass risikovollere Projekte bevorzugt werden.

Die Nutzwertanalyse ist nach Zangemeister die Analyse einer Menge von Handlungsalternativen mit dem Ziel, die Elemente dieser Menge entsprechend der Präferenzen der Entscheidungsträger bezüglich eines mehrdimensionalen Zielsystems zu ordnen (vgl. Zangemeister 1976, S. 45). Die Nutzwertanalyse wird eingesetzt, wenn ein Zielbündel oder multidimensionale Zielsysteme bei der Entscheidung für ein Projekt berücksichtigt werden sollen. Das Ergebnis multidimensionaler Zielsysteme ist eine Menge komplexer Handlungsalternativen, zwischen denen der Entscheider wählen kann (vgl. Schulte 2001, S. 234). Die Nutzwertanalyse kann dabei für verschiedene betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme herangezogen werden, wie beispielsweise die Auswahl von Maschinen oder die Standortwahl. Dabei geht die Nutzwertanalyse davon aus, dass der Entscheider diejenige Alternative bevorzugt, die ihm den höchsten Nutzen bringt. Die Anwendung der Methode erfolgt in mehreren Schritten (vgl. Blohm/Lüder 1995, S. 177 ff und Zangemeister 1976, S. 77 ff). Zunächst ist das zu lösende Entscheidungssystem zu formulieren. Dann müssen die zu erreichenden Zielkriterien festgelegt werden und ein Zielsystem mit Ober- und Unterzielen ist zu erstellen. Im nächsten Schritt sind diese Zielkriterien, je nach individueller Wichtigkeit für den Entscheider, zu gewichten. Im Anschluss daran werden die Alternativen festgelegt, die bewertet werden sollen. Dann werden die Zielerträge ermittelt, wobei die Zielkriterien auf eine vergleichbare Skala umgerechnet werden müssen. Im Anschluss daran werden die Nutzwerte der Alternativen berechnet und eine Entscheidung für eine Alternative wird getroffen. Vorteil der Nutzwertanalyse ist die Möglichkeit, auch Alternativen mit

nicht monetären Zielen zu bewerten. Nachteilig sind die Schwierigkeiten bei der Auswahl geeigneter Beurteilungskriterien und bei der Gewichtung der Ziele. Zudem werden monetäre Beurteilungsgrößen gegebenenfalls nicht ausreichend berücksichtigt (vgl. Witte 2007, S. 161).

Zur Beurteilung der Investitionen in neue Montagekonzepte in Abhängigkeit von den Absatzzahlen eignet sich die Break-Even-Analyse. Im Rahmen der Break-Even-Analyse wird bestimmt, mit welcher Absatzmenge oder welchem Erlös weder Gewinn noch Verlust erzielt wird. Mathematisch wird dieser sogenannte Break-Even-Punkt folgendermaßen definiert: Fixkosten / (Preis – Variable Kosten) (vgl. Schwinn 1996, S. 763). Die Break-Even-Analyse wird eingesetzt, um unterschiedliche Investitionsprojekte hinsichtlich kritischer Grenzwerte zu vergleichen. Im Rahmen der Investitionsprojektbewertung sind die Projekte mit den niedrigsten Break-Even-Punkten bevorzugt zu realisieren. Zudem erfolgt eine Risikobewertung. Der Raum zwischen dem erwarteten Absatz und dem Break-Even-Punkt wird dabei Sicherheitsspanne genannt (vgl. Steger 2006, S. 124). Ein Vorteil der Break-Even-Analyse ist die klare Darstellung von Gewinnschwellen und Absatzrisiken. Die Break-Even-Analyse zeigt auf, wie viel Absatz notwendig ist, um die erwarteten Kosten zu decken. Wöhe nennt vier kritische Aspekte der Break-Even-Analyse (vgl. Wöhe 2005, S. 1965 f). Erstens wird dabei unterstellt, dass die Gesamtkosten proportional sind. Zweitens können Break-Even-Analysen nur intern vorgenommen werden, weil genaue Kostendaten notwendig sind. Drittens ist es nicht immer möglich, alle Aufwendungen als Kosten in die Berechnung mit einzubeziehen. Viertens werden die variablen und die Fixkosten getrennt erfasst was sich in der Realität als schwierig erfüllbar gestaltet (vgl. Töpfer 2006, S. 1112).

Im Rahmen der empirischen Analysen werden die genannten Methoden bezüglich ihrer Eignung für KMU beurteilt. Dabei wird untersucht, welche der Methoden für die monetäre Beurteilung von neuen Montagekonzepten eingesetzt werden können. Neben der Methodenbewertung wird ein auf den Prinzipien der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung beruhendes Konzept zur Beurteilung der Ansätze zur Montage- und Produktgestaltung erarbeitet. Dabei wird der Fokus auf nicht-monetäre Zielgrößen gelegt. Diese Ziele werden im Rah-

men der Forschungstätigkeiten erarbeitet und in einem Bewertungskonzept umgesetzt.

2.6 Zusammenfassung des theoretischen Bezugsrahmens

Als Fazit lässt sich festhalten, dass in der Literatur vorliegende Vorgehensweisen zur Montageplanung dazu geeignet sind, den strukturellen Rahmen für einen Montagekonfigurationsprozess der Kleinserienmontage zu bilden. Jedoch sind die Vorgehensweisen an die spezifischen Anforderungen von KMU zu adaptieren. Die in der Theorie vorliegenden Gestaltungsansätze und Methoden zur Produkt- und Montagegestaltung sind in den Montagekonfigurationsprozess zu integrieren. Der Integration muss eine Prüfung der Ansätze und Methoden bezüglich ihrer Eignung für KMU vorausgehen. Wesentlicher Bestandteil eines Prozesses zur Montagekonfiguration der Kleinserienmontage ist ein Ansatz zur Bewertung der Montagekonzepte. Dazu sind sowohl Methoden der klassischen als auch der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung einzusetzen.

3 Empirische Anforderungsanalysen zur Konfiguration der Kleinserienmontage bei KMU

3.1 Empirische Basis

3.1.1 Fallstudien

Zur Analyse der Anforderungen von KMU in der Montageplanung von kleinen Serien wurden 15 Fallstudien aus den Bereichen Produkt- und Montagegestaltung ausgewertet. Die Fallstudien dienen als Basis zur Identifikation von spezifischen Problemstellungen und Ergebnissen bezüglich der Montagegestaltung (vgl. Abb. 3-1).

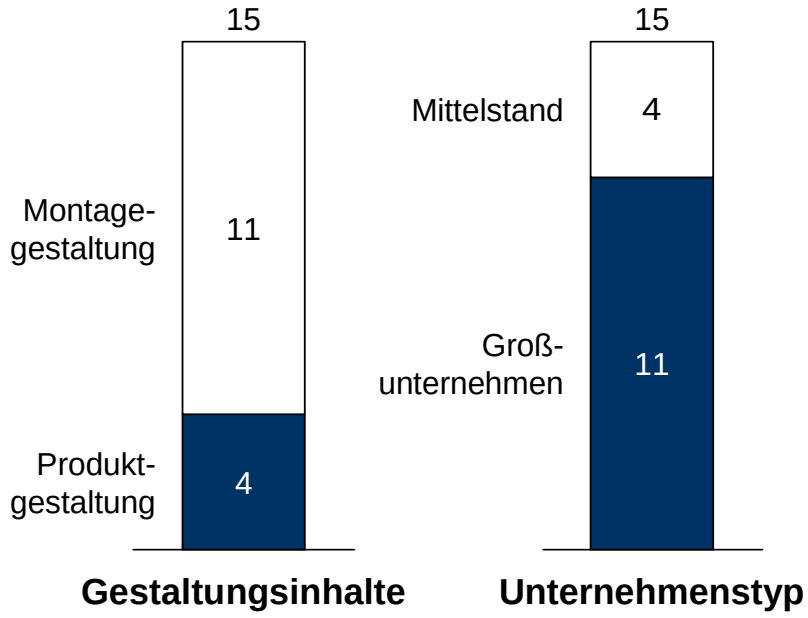


Abbildung 3-1: Charakterisierung der Fallstudien

Die Fallstudien sind den beiden Bereichen Produkt- und Montagegestaltung zuzuordnen. 11 Fallstudien befassen sich mit den Prinzipien und Inhalten der Montage- und Materialflussgestaltung. 4 sind den Bereichen der Produkt- und Produktordnungssystemgestaltung zugeordnet. 4 Fallstudien kommen aus mittelständischen und 11 aus Großunternehmen. Eine Übersicht der Inhalte je Fallstudie sowie deren Einordnung bezüglich der beiden Gestaltungsbereiche Montage und Produkt ist in Abbildung 3-2 dargestellt.

Nr.	Fallstudienbezeichnung	Bezug zur Thematik des FOP	Gestaltungsaspekt
1	Erarbeitung eines Montagekonzepts bei Verpackungsmaschinen	Montagegestaltung, Kleinserie	Montage
2	Optimierung des Materialflusses und Bestandsreduzierung bei einem Anlagenbauer	Materialflussgestaltung, Methodeneinsatz	Montage
3	Entwicklung eines Segmentierungskonzeptes im Maschinenbau	Mittelstand, Produktionsreorganisation	Montage
4	Fertigungssegmentierung bei einem Elektronikhersteller	Mittelstand, Segmentierung der Produktion, Layoutgestaltung	Montage
5	Fertigungssegmentierung - Nutzung der Potenziale in der Produktion	Mittelstand, Segmentierung der Produktion, Layoutgestaltung	Montage
6	Reorganisation und Standardisierung der Abwicklungsprozesse in der Baumaschinenindustrie	Gestaltung der Bereitstellung	Montage
7	Neugestaltung der Montage zur Erhöhung der Planungsgenauigkeit im Maschinenbau	Montagegestaltung	Montage
8	Produktionsentstörung in der Montage	Montagegestaltung, Produktprogrammgestaltung	Montage
9	Reorganisation der Auftragsabwicklung in der Maschinenbaubranche	Methodeneinsatz im Bereich der Produktionsgestaltung	Montage
10	Montagesegmentierung bei einem mittelständischen Hersteller industrieller Großgetriebe	Mittelstand, Montagegestaltung	Montage
11	Wertstromanalyse der Montage	Montagegestaltung, Methodeneinsatz	Montage
12	Redesign von Entwicklungsprozessen	Methodeneinsatz im Bereich der Produktgestaltung	Produkt
13	Parallelisierung Produktentwicklung und Service-Organisation in der Medizintechnik	Realisierung Produktordnungssystem, Methodeneinsatz	Produkt
14	Produkt- und Prozessharmonisierung in der Automobilindustrie	Produktprogrammgestaltung, Variantenmanagement	Produkt
15	Reduzierung/ Begrenzung der äußeren und inneren Variantenvielfalt in der Kommunikationsbranche	Produktprogrammgestaltung, Variantenmanagement	Produkt

Abbildung 3-2: Übersicht der Fallstudieninhalte

Fallstudie 1: Das Unternehmen ist ein Hersteller von Verpackungsmaschinen, das aufgrund laufend steigender Umsätze in einem Werk an die Kapazitätsgrenze stieß. Die beengten Platzverhältnisse ermöglichten nur unzureichend die Gestaltung einer effizienten Produktion. Aus diesem Grund wurde eine Erweiterung der Hallenkapazitäten vorgenommen und ein neues Montagekonzept entwickelt. Die Elemente betrafen die Bereiche Materiallogistik, Layout, Produktionsorganisation, Produktionsplanung und Qualitätsmanagement. Es wurde ein flexibles Montagelayout und eine Inselmontage umgesetzt, sowie die Konzepte Visualisierung und 5-S eingeführt. Dadurch konnte sowohl die Produktivität deutlich gesteigert als auch der Lagerbestand und die Nebenzeiten reduziert werden

Fallstudie 2: Das Unternehmen ist ein international agierender Anlagenbauer. Bei diesem führten Hindernisse im Materialfluss zu hohen Durchlaufzeiten und zu hohen Beständen. Es lag eine hohe Mitarbeiterunzufriedenheit durch komplexe Abläufe und hohe Arbeitsbelastung sowie ungleicher Verteilung der Auf-

gaben und Verantwortlichkeiten vor. Zudem fehlte eine Abrufsystematik und die Auftragsabwicklung war mangelhaft. Mit einer Analyse entlang der gesamten Wertschöpfungskette konnten mögliche Schwachstellen und Problemfelder identifiziert werden. Vordringliches Ziel war die Reduzierung der Standardlieferzeit um 50 Prozent. Eng damit verbunden war die Steigerung der Produktivität und der Produktionskapazität, die Fehlerfreiheit und Durchgängigkeit in den Prozessen und Optimierungen hinsichtlich der eigenen Liefertermintreue sowie der Lieferpünktlichkeit der Lieferanten. Dabei erfolgreich eingesetzte Methoden waren Stärken-Schwächen-Analysen und Schnittstellenanalysen in den Bestand beeinflussenden Bereichen.

Fallstudie 3: Eine signifikant steigende Nachfrageentwicklung bei einem mittelständischen Hersteller von Getrieben machte eine Reorganisation der vorhandenen Montagestrukturen erforderlich. Die bestehenden Strukturen waren durch mangelnde Planungstransparenz, hohe Fehlteilquoten, reaktives Vorgehen sowie durch informelle Strukturen gekennzeichnet. Infolge der langjährigen Erfahrung als Einzelfertiger dominierte im Unternehmen das Werkstattfertigungsprinzip. Die Zielsetzung des Projektes lag in einer detaillierten Analyse und Optimierung der Prozesse in der Produktion in Bezug auf deren Effizienz sowie deren Schnittstellen zu den anderen Unternehmensfunktionen, um die mittelfristige Transformation des Unternehmens vom Einzel- zum Kleinserienfertiger zu initiieren. Ergebnisse waren die Reduzierung der Fehlteilquote im Montageprozess die Erhöhung der Datentransparenz und die Etablierung selbststeuernder Regelkreise. Außerdem konnten nicht wertschöpfende Zeitanteile durch Methoden der Rüstzeitminimierung sowie durch montagegerechte Bereitstellung reduziert werden.

Fallstudie 4: Bei einem mittelständischen Elektronikhersteller mit einem Umsatz von 24 Millionen Euro wurden direkte und indirekte Unternehmensbereiche untersucht und optimiert. Der Lagerbestand war deutlich zu hoch. Ein einheitlicher Produktionsablauf für alle Produkttypen führt zu Effizienzverlusten und die Ansiedelung der Lagerorte für Ersatzteile und für technische Materialien in weiter Entfernung zur Montageanlage resultierte in langen Durchlaufzeiten. Ziel war die Optimierung der Lagerorganisation sowie die Errichtung

montagenaher Läger für niederwertige und oft beauftragte Materialien. Zudem erfolgte eine Segmentierung der Produkttypen hinsichtlich der Prognostizierbarkeit des Bedarfs (XYZ-Analyse) und des Umsatzanteils (ABC-Analyse). Ein weiterer Lösungsansatz war die Segmentierung eines Montagestandortes zur Einführung des Fließprinzips. Als Ergebnis konnte der Bestand um 35 Prozent und die Durchlaufzeit um 50 Prozent reduziert werden.

Fallstudie 5: Ein Unternehmen aus dem Bereich Fördertechnik mit einer Mitarbeiterzahl von 250 Mitarbeitern verlor durch geringe Liefertreue und Produktivität Aufträge. Wesentliche Probleme waren die Funktionalorganisation mit vielen Schnittstellen, eine geringe Produktqualität und hohe Rohwarenbestände. Ziel war die die Bildung von Fertigungssegmenten zur Reduzierung der Probleme sowie zur Steigerung der Produktivität. Die Fertigungssegmente wurden nach den Fertigungsprozessen und den dafür erforderlichen Fertigungsschritten gebildet. Eine detaillierte Ausgestaltung der gebildeten Fertigungssegmente erfolgte anhand der Kriterien kontinuierlicher Verbrauch, Durchlaufzeiten und Losgrößen. Eine zusätzliche Integration indirekter Funktionen in die Fertigungssegmente führte zu einer Erhöhung der Autonomie. Im Soll-Layout wurden des Weiteren die Materialflüsse optimiert und die Montagesegmente unabhängig voneinander gestaltet. Als Ergebnis konnte eine Produktivitätssteigerung von über 40 Prozent erzielt werden.

Fallstudie 6: Die Fallstudie beinhaltet die Reorganisation und Standardisierung der Abwicklungsprozesse in einem Unternehmen der Baumaschinenindustrie. Aufgrund von Nachfragerückgang und Konzentrationsprozessen war eine Optimierung der Abwicklung notwendig geworden. Die zentralen Probleme waren hohe Bestände und Transportkosten sowie uneinheitliche Abwicklungsprozesse und ein geringer Servicegrad. Zur Verbesserung der Abwicklung erfolgte eine Zentralisierung der Ersatzteilversorgung an einen Standort und die Reduzierung der dezentralen Lager auf Handbestände. Des Weiteren wurde ein neues Materialflusssystem mit unternehmensbezogenen Montagekonzepten eingeführt. Dadurch konnten die Logistikkosten und der Verwaltungsaufwand deutlich reduziert werden. Der Servicegrad stieg zudem auf 98 Prozent.

Fallstudie 7: Zur Erhöhung der Planungsgenauigkeit eines Maschinenbauun-

ternehmens mit einem Umsatz von 300 Millionen Euro wurde die Montage neu gestaltet. Da die Montagekapazitäten der produzierten Maschinen seit mehreren Jahren über der Kapazitätsgrenze ausgelastet waren, wurde eine Produktionskapazitätserweiterung angestrebt. Dadurch sollte die Effizienz der Abläufe und die Liefertreue gesteigert werden. Des Weiteren wurde eine Standardisierung der Abläufe und Materialbereitstellung geplant. Im Rahmen der Optimierung erfolgte die Auditierung der bisherigen Montagesituation mit einer Ist-Analyse der Montageabläufe, Produktionsorganisation und Materialbereitstellungskonzepte sowie des Qualitätsmanagements und der Produktionsplanung. Auf Basis der Ergebnisse wurde ein Stärken-Schwächen-Profil erarbeitet und das Sollkonzept zur Neugestaltung der Montage entwickelt. Ergebnis war die Segmentierung der Montagehalle hinsichtlich Maschinengrößen, die Einführung einer “Frozen Zone” sowie die Einführung von Gruppenarbeit mit 5 Segmenten. Zusätzlich wurde eine Ordnungs- und Sauberkeitsinitiative durch die Einführung von 5-S initiiert.

Fallstudie 8: Bei einem Automobilzulieferer erfolgte aufgrund mangelnder Liefertreue und Programmabweichungen eine Produktionsentstörung in der Montage. Eine mangelnde Teileverfügbarkeit sowie ein hohes Nacharbeitsvolumen waren weitere Probleme in der Montage. Zur Verbesserung der Situation erfolgte eine visuelle Darstellung und Überprüfung der logistischen Steuerungsprinzipien. Als Ergebnis konnte eine differenzierte Materialbereitstellung nach JIT-Prinzipien implementiert werden. Zudem wurde Gruppenarbeit eingeführt. Zur Steigerung des Qualitätsbewusstseins wurden Qualitätsregelkreise implementiert. Eine Erhöhung des Standardisierungsgrades der Produkte und des Produktprogramms erfolgte durch die Durchführung einer Produktklinik und die Realisierung der Ansätze des Variantenmanagements. Des Weiteren wurde die Effizienz von KVP-Prozessen durch geeignete Maßnahmen erhöht.

Fallstudie 9: Bei einem Unternehmen des Maschinenbaus wurde die Auftragsabwicklung neu gestaltet. Hohe Wachstumsraten auf dem Markt und ein scharfer Wettbewerbsdruck auf dem Beschaffungsmarkt erforderten eine Umstellung von der traditionellen Einzelfertigung zu einer Fließfertigung. Ziel war die Steigerung der Produktivität sowie die Reduzierung der Bestände die Stei-

gerung der Liefertreue. Durch eine detaillierte Prozessanalyse der Auftragsabwicklung konnten die Defizite der herkömmlichen Prozesse erarbeitet werden. Die Auftragsabwicklung zeichnete sich in dem Unternehmen durch eine gegliederte Verantwortlichkeit aus. Ein nachhaltiges Regelwerk mit definierten Quality Gates unterstützt in der heutigen Struktur eine hohe Prozesssicherheit und ermöglicht den rechtzeitigen Eingriff bei Fehlentwicklungen. Die Ausarbeitung detaillierter Prozessabläufe für Neuprodukte, Wiederhol- und Serienaufträge, sowie Einzelanfertigungen und Reparaturaufträge stellte die Prozessorientierung aller Abteilungen des Unternehmens sicher. Zur Prüfung der Zielerreichung wurde ein Performance-Indicator-Cockpit entwickelt, mit dem Schwachstellen identifiziert werden und auf dessen Basis Gegenmaßnahmen eingeleitet wurden. Als Ergebnis konnte eine Produktivitätssteigerung von 20 Prozent erreicht werden.

Fallstudie 10: In Fallstudie 10 wird die Montagesegmentierung bei einem mittelständischen Hersteller industrieller Großgetriebe betrachtet. Die Steigerung der Nachfrageentwicklung erforderte die Reorganisation der Montagestrukturen. Zielsetzung war die Steigerung der Flussorientierung in der Montage sowie die Erzielung einer transparenten und kundenorientierten Auftragsplanung und -abwicklung. Ein weiteres Ziel war die Schaffung von Datentransparenz bezüglich Qualitätsdaten, Beständen und Fehlteilen sowie die Standardisierung der Produktionsprozesse. Als Reorganisationsansatz wurde das Konzept der Montagesegmentierung gewählt, welches sich in folgende sechs Phasen gliederte: Ableitung erster Umsetzungsideen, Optimierung der Prüfstände, Gestaltung von Arbeitsstationen, Ableitung von Bereitstellungskonzepten, Ausgestaltung der Lackierstation, Ausgestaltung Qualitätskonzept und Gestaltung des Layouts. Als Resultat der Montagesegmentierung wurde eine Vielzahl quantitativer sowie qualitativer Potenziale gehoben. Die Zielsetzung des Reorganisationsprojektes, die Produktivität zu erhöhen sowie die Durchlaufzeiten und die Umlaufbestände zu senken, wurde erreicht.

Fallstudie 11: In einem Unternehmen des Maschinenbaus lagen zahlreiche Störquellen im Montageablauf vor, die den Fluss der Montage spürbar behinderten. Fehlende Bestandtransparenz führte zu eigenmächtiger Planung und

Steuerung der Fertigungsaufträge. Es existieren keine Verantwortungszuordnungen für Umlaufbestände. Das Unternehmen hatte zudem aufgrund der diffusen organisatorischen Einheiten Schnittstellenprobleme in der Montage. Als Lösungsansatz wurde eine Wertstromanalyse in der Montage durchgeführt. Neben der Visualisierung der Wertströme galt es, die komplexen Montageprozesse zu identifizieren und die Montage individuell auf die Belange des Kunden anzupassen. Dazu wurden die Hauptursachen für Störungen identifiziert und kundenspezifisch gelöst. Der größten Erfolge wurden im Bereich der Neugestaltung der Endmontage realisiert. Es wurde eine sichere Materialversorgung und eine Optimierung der Abläufe vor allem auch durch eine Verringerung der externen Störungen erreicht. Die Bestandstransparenz wurde durch Ausarbeitung von Konzepten zur Reduzierung von Umlaufbestand verbessert. Durch die Erweiterung des Kennzahlensystems konnte die notwendige Transparenz sowie Prüffähigkeit der Prozesse hergestellt werden.

Fallstudie 12: Das Unternehmen der Automobilzulieferindustrie (1,5 Mrd. Euro Umsatz, 1600 Mitarbeiter) hatte Probleme im Bereich der Produktentwicklung die von ihrem Kunden vorgegebenen Ziele bezüglich der Kosten, Termine und Qualität zu erreichen. Der Kunde wurde zu seinem SOP mit Produkten beliefert, die nicht die geforderten Produkt- und Prozessreifegrade aufwiesen. Zur Ermittlung der Stärken und Schwächen der Innovationskette wurde ein auf das betrachtete Unternehmen spezifisch zugeschnittenes Innovations-Audit durchgeführt. Ein umfassendes Benchmarking mit dem Branchendurchschnitt und Best Practice Vergleichen unterstützte die Analyse. Wesentliche Defizite des Unternehmens waren die fehlende Differenzierung nach verschiedenen Innovationsaufgaben, Defizite im Projektmanagement, vielfältige Schnittstellenprobleme, ein geringer Parallelisierungsgrad der Aktivitäten und mangelnde methodische Unterstützung. Zur Problemlösung wurde die Entwicklung neu organisiert und die Prinzipien des Simultaneous Engineering eingeführt. Zudem wurden Quality Gates eingeführt und es erfolgte eine Schulung der Methoden FMEA, QFD und Produktklinik. Durch die Maßnahmen konnte die Durchlaufzeit bei Neuproduktentwicklungen um 20 Prozent sowie bei Applikationsentwicklungen um 40 Prozent gesenkt werden. Darüber hinaus wurde eine signifikante Steigerung der Produktreife und Produktqualität zum SOP des

Kunden erreicht.

Fallstudie 13: In einem Unternehmen der Medizintechnik wurden durch die Parallelisierung der Produktentwicklung sowie die Neustrukturierung der Serviceorganisation positive Ergebnisse erzielt. Das Unternehmen hatte mit langen Durchlaufzeiten und einer schleppenden Bearbeitung von Anfragen zu kämpfen. Durch die Implementierung eines Wissensmanagementsystems sowie die Schaffung einer Wissensdatenbank konnten die Durchlaufzeiten in der Entwicklung und im Service reduziert werden. Durch eine Parallelisierung von Produktentwicklung und Serviceorganisation konnte zusätzlich Zeit reduziert werden. Wesentliche positive Kosten- und Zeiteffekte wurden durch den Aufbau eines Produktordnungssystems für Ersatzteile erzielt. Als Ergebnis konnten die Durchlaufzeiten der Entwicklungs- und Serviceprozesse deutlich reduziert werden.

Fallstudie 14: Die Fallstudie beschreibt die Produkt- und Prozessharmonisierung bei einem Unternehmen der Automobilindustrie. Die Problematik des Unternehmens war durch eine Vielzahl produzierter Varianten bei gleichzeitig starkem Kostendruck gekennzeichnet. Durch eine Analyse der Kundenstruktur konnte aufgezeigt werden, dass bei fast allen Kunden die Selbstkosten über den Verrechnungspreisen lagen. Eine Lösung war die Schaffung des Variantenspektrums auf Fertigerzeugnisebene. Zudem wurden Einzelteile und Baugruppen reduziert und der Variantenbestimmungspunkt optimiert. Eine Bildung von Produktfamilien führte zur Straffung der Materialflüsse und Begrenzung der Variantenvielfalt im Durchlauf. Für eine technologisch eigenständige Produktgruppe wurde zudem ein durchgängiges Produktionssegment eingerichtet. Durch die genannten Maßnahmen konnten die Komplexitätskosten um mehr als 30 Prozent reduziert werden.

Fallstudie 15: In einem Unternehmen der Informations- und Kommunikationstechnik wurde die äußere und innere Variantenvielfalt reduziert. Umsatzrückgang und starker Kostendruck sowie die geringe Transparenz über den Ergebnisbeitrag der einzelnen Varianten waren wesentliche Probleme des Unternehmens. Zudem führte der schleichende Anstieg der Varianten zu hohen Kosten. Zielsetzung war die Reduzierung von Komplexitätskosten und die Re-

duzierung der äußeren und inneren Variantenvielfalt. Zudem wurde flächendeckend ein übergreifendes Komplexitätsmanagement implementiert. Die Entwicklung und Implementierung ganzheitlicher Soll-Prozesse führte zur nachhaltigen Vermeidung von Komplexität. Das ganzheitliche Variantenmanagement durch beispielsweise die Reduzierung von Bauteilen als Ergebnis einer ABC- und XYZ-Analyse sowie die Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts in der Montage führte zu einer Verringerung der Variantenanzahl von über 60 Prozent.

Die Reorganisation der Gestaltungsfelder in den Fallstudien liegt bis zu 3 Jahre zurück. Um die aktuellen Anforderungen der Montage zu erfassen, wurden Expertengespräche, verbunden mit einer Auditierung der Montage, in den Unternehmen durchgeführt.

3.1.2 Expertengespräche und Unternehmensaudits

Die im Rahmen der Forschungstätigkeiten durchgeführten Expertengespräche und Unternehmensaudits erfolgten bei 10 Industrieunternehmen. Die befragten Experten sind sowohl im Bereich der Fertigungs- und Montageleitung als auch in der Montageplanung tätig. 5 der analysierten Unternehmen sind KMU aus den Bereichen Sondermaschinenbau, Medizintechnik, Automobilzulieferindustrie und Elektroindustrie. Demzufolge sind von den befragten Unternehmen alle Unternehmen bis zu einer Mitarbeiteranzahl von 2.000 dem Bereich KMU zuzuordnen. Aus dem Bereich der Groß-Unternehmen wurden ebenfalls 5 Unternehmen befragt, die den Branchen Maschinenbau, Elektrotechnik, Medizintechnik und Automobilzulieferindustrie zuzuordnen sind. Die Unternehmen weisen entweder komplexe Produkte, ein komplexes Produktprogramm oder die Kombination der beiden Komplexitätsgrößen auf. Ziel der Unternehmensbefragung war die Identifikation der Rahmenbedingungen, die die Montagetätigkeiten beeinträchtigen sowie die Ermittlung von Anforderungen und Leitlinien für die Gestaltung der Montage kleiner Serien. Zudem wurden relevante Methoden zur Wirtschaftlichkeitsanalyse identifiziert. In Abbildung 3-3 ist eine Übersicht der Expertengespräche unter Verwendung der charakteristischen Unternehmensdaten dargestellt.

Expertengespräch	Branche	Umsatz (2008)	Mitarbeiter (2008)	Fertigungsart (Montage)
océ	Maschinenbau und IT	2.900 Mio. Euro	2.200	Einzel- und Kleinserienfertigung
iwis wir bewegen die welt	Maschinenbau	250 Mio. Euro	800	Einzel- und Kleinserienfertigung, Einmalfertigung
Rexroth Bosch Group	Maschinenbau, Anlagenbau	5.800 Mio. Euro	35.000	Einzel- und Kleinserienfertigung
EADS	Elektrotechnik	800 Mio Euro	4.000	Einzel- und Kleinserienfertigung
REHAU	Kunststoffverarbeitung, Automobilzulieferer	1.600 Mio. Euro	9.000	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Giesecke & Devrient	Maschinenbau, Sondermaschinenbau	380 Mio. Euro	2.000	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
stryker LEIBINGER	Medizintechnik	k. A.	350	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Möhlenhoff	Maschinenbau	26 Mio. Euro	160	Einzel- und Kleinserienfertigung
GROUP	Erneuerbare Energie	k. A.	100	Serienfertigung
SIEMENS	Elektrotechnik, Medizintechnik	12 Mrd. Euro	120.000	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serien-/Großserienfertigung

Abbildung 3-3: Expertengespräche zur Anforderungsanalyse

Die Befragung der Experten wurde mit Hilfe eines standardisierten Interviewleitfadens durchgeführt, der sich aus folgenden 5 Analysefeldern zusammensetzt: Basisdaten Unternehmen, Kernaspekte der Montage, Vorgehensweise bei der Montageplanung, Bewertung der Montage und Einbindung von vor- und nachgelagerten Stellen. Die Fragen des Fragebogens sind als geschlossene Fragen konzipiert. Ergänzungen und Zusatzbemerkungen wurden im Gespräch jedoch ermöglicht und zusätzlich erfasst und ausgewertet. Zudem wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt, die eine freie Erfassung der jeweiligen Expertenerfahrungen ermöglichte. Die Befragung der Experten erfolgte in den jeweiligen Unternehmen und war in der Regel jeweils mit einer Auditierung der Montage verbunden, wodurch fundierte Kenntnisse zur Montagegestaltung gewonnen werden konnten. Die Analysefelder sowie die Ziele, die mit der Befragung verfolgt wurden, sind in Abbildung 3-4 zusammenfassend dargestellt.

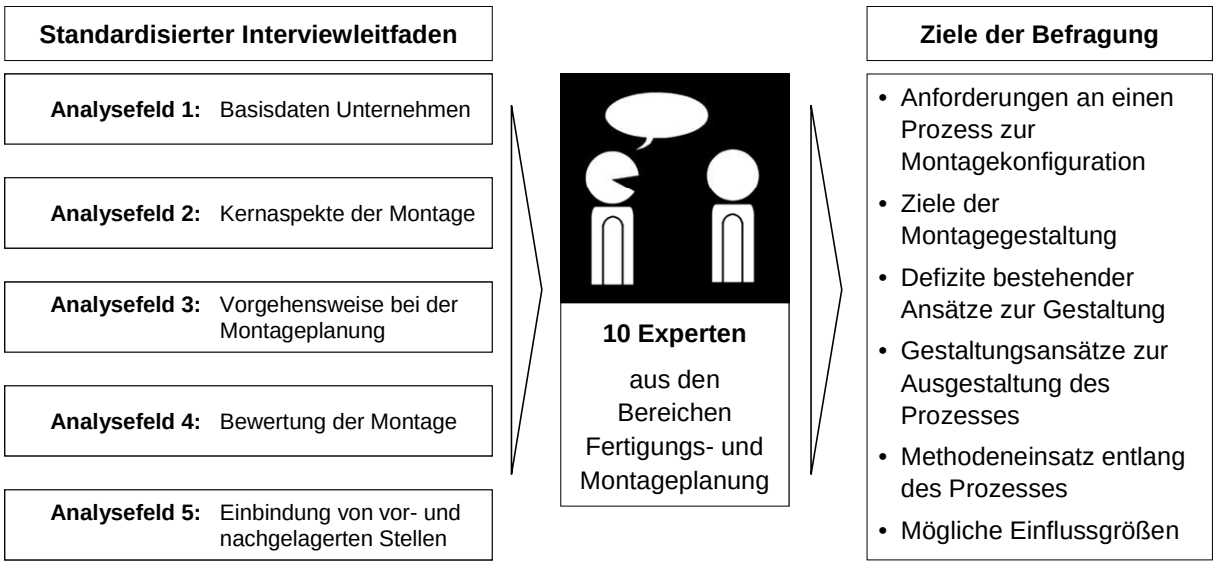


Abbildung 3-4: Interviewleitfaden und Ziele der Expertenbefragung

3.1.3 Befragung von Unternehmen mittels Fragebogen

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Analysen der Theorie sowie der Fallstudien und Expertengespräche wurde ein Fragebogen erarbeitet, der dazu beiträgt, die Anforderungen an einen Konfigurationsprozess der Kleinserienmontage zu ermitteln. Der Fragebogen setzt sich aus fünf Analysefeldern zusammen. Analysefeld 1 beinhaltet die Abfrage der Basisdaten des Unternehmens. Diese sind beispielweise der Umsatz und die Mitarbeiteranzahl des Unternehmens. Analysefeld 2 dient der Abfrage der relevanten Einflussgrößen auf den Montagekonfigurationsprozess und zur Parametrisierung der Ergebnisse. Im Rahmen der Analysefelder 3 und 4 werden geeignete Gestaltungsansätze und Methoden zur Produkt- und Montagegestaltung je Einflussgrößenkombination ermittelt. Analysefeld 5 dient der Identifikation von Erfolgsgrößen im Bereich der Montagekonfiguration. In Summe setzt sich der Fragebogen aus 38 Einzelfragen zusammen, die anonym beantwortet wurden. Bis auf eine Frage sind alle Fragen als geschlossene Fragen konzipiert. Die Antworten auf die geschlossenen Fragen erfolgen unter Verwendung von entweder metrischer oder nominaler Skalen. Der Fragebogen wurde an 700 Unternehmen der verarbeitenden Industrie versandt. Für den Untersuchungsbereich der Kleinserienmontage bei mittelständischen Unternehmen konnten 72 Fragebögen ausgewertet werden.

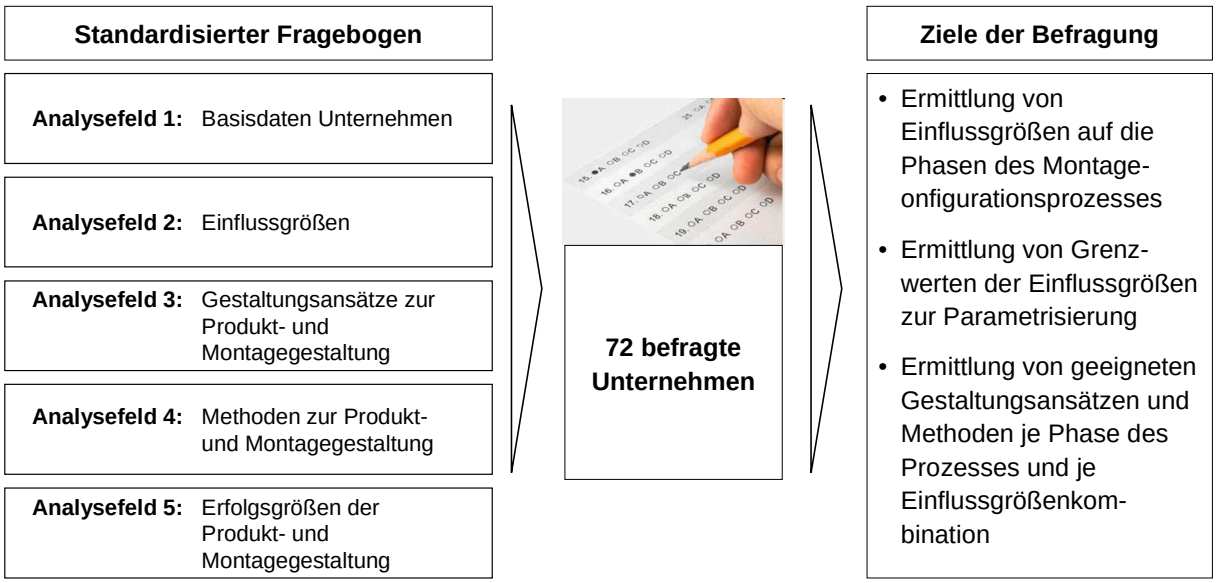


Abbildung 3-5: Fragebogenaufbau und Ziele der Fragebogenaktion

Neben der Anforderungsanalyse diente der Fragebogen der Ermittlung von relevanten Einflussgrößen auf den Montagekonfigurationsprozess. Zudem sollten Grenzwerte der Einflussgrößen für KMU ermittelt werden, um die Einflussgrößen zu parametrisieren. Ein weiters Ziel war die Ermittlung von geeigneten Gestaltungsansätzen und Methoden je Phase de Montagekonfigurationsprozesses und je Einflussgrößenkombination. Nachfolgend werden die Unternehmen der Fragebogenaktion mithilfe der Größen Umsatz, Mitarbeiterzahl, Branche, Montageorganisationsform und Fertigungsart charakterisiert.

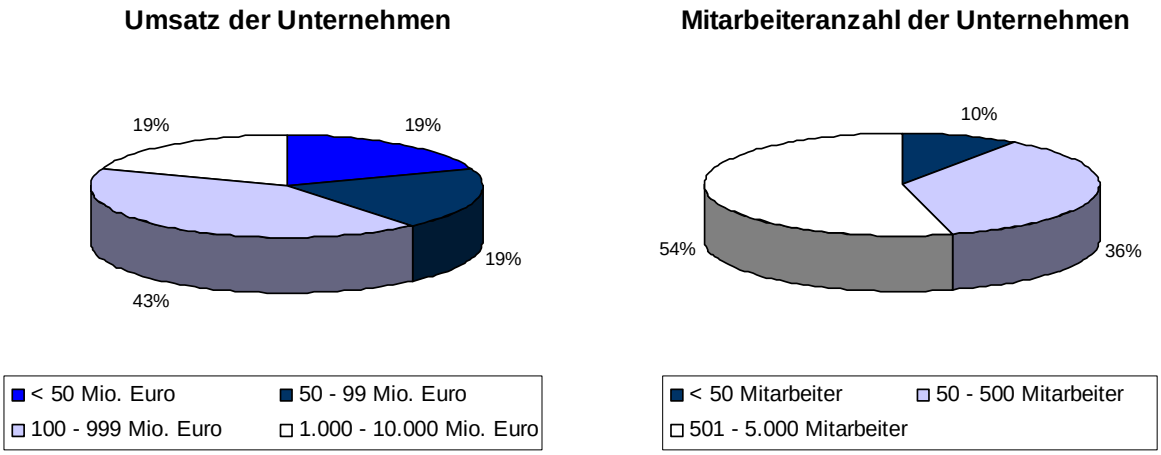


Abbildung 3-6: Umsatz und Mitarbeiteranzahl der Rückläufer der Fragebogenaktion

19 Prozent der Unternehmen weisen einen Umsatz von kleiner als 50 Millionen Euro auf. Den größten Anteil bilden Unternehmen mit einem Umsatz von 100 bis 999 Millionen Euro (vgl. Abb. 3-6). Die Mitarbeiterzahlen der Unternehmen können in drei Kategorien unterschieden werden. Unternehmen mit 501 bis 5.000 Mitarbeitern bilden mit einem Prozentsatz von 54 Prozent den größten Anteil der Rückläufer.

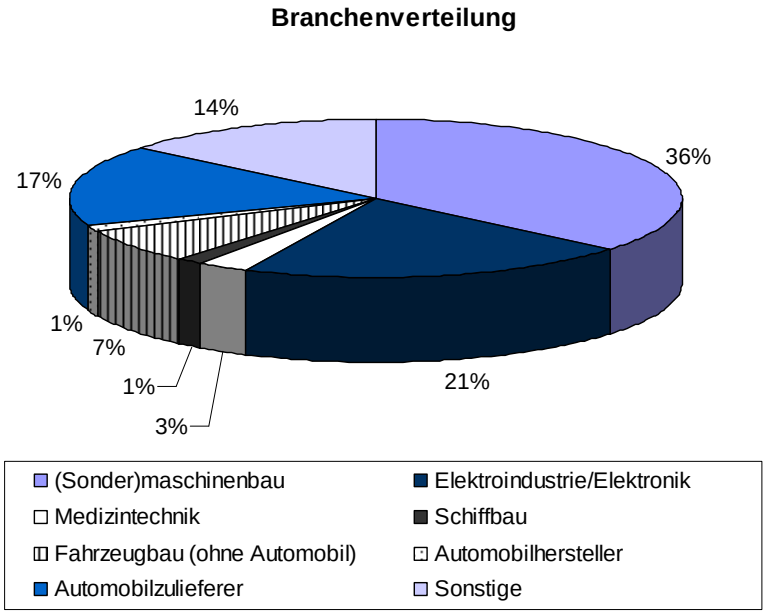


Abbildung 3-7: Branchenverteilung der Rückläufer der Fragebogenaktion

Die Unternehmen lassen sich acht unterschiedlichen Branchen zuordnen. Mit 36 Prozent bilden Unternehmen des (Sonder)maschinenbaus die größte Gruppe der Rückläufer. 21 Prozent der Rückläufer sind der Elektroindustrie zuzuordnen und 17 Prozent sind Automobilzulieferer. Die verbleibenden Prozentanteile verteilen sich auf sonstige Branchen, wie beispielsweise Medizintechnik, Fahrzeugbau (ohne Automobil) und Automobilhersteller.

Die Montageorganisationsform der Unternehmen ist bei 33 Prozent Reihenmontage, bei 29 Prozent Gruppenmontage und bei 26 Prozent Fließmontage. Die Baustellenmontage bildet mit 8 Prozent die am geringsten vertretene Montageorganisationsform. 4 Prozent der Unternehmen gaben nicht an, welcher Montageorganisationsform ihre Montage angehört. Mehrfachnennungen waren bei der Frage nicht möglich.

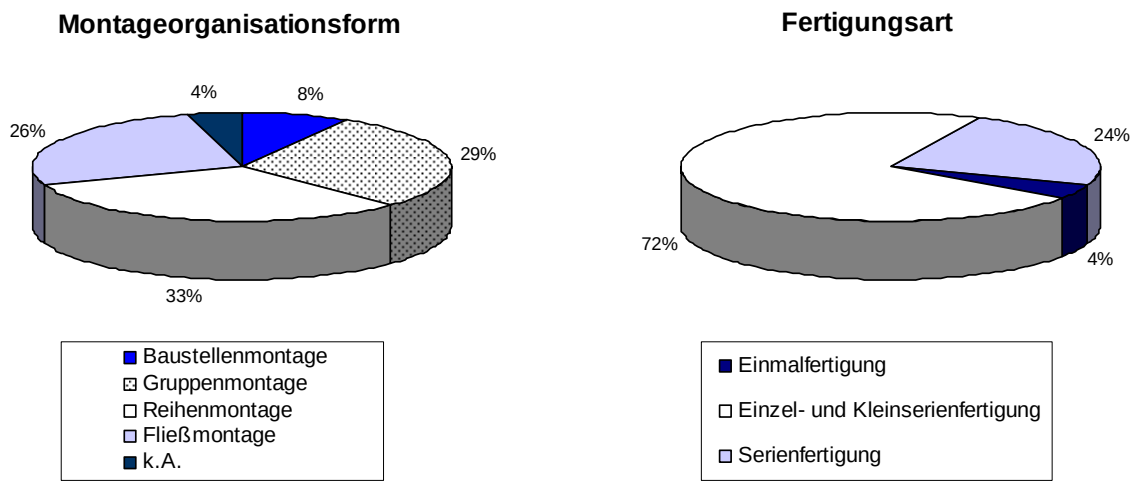


Abbildung 3-8: Montageorganisationsform und Fertigungsart der Rückläufer der Fragebogenaktion

Aus den Unternehmen wurden diejenigen ausgewählt, die als Fertigungsart Einmalfertigung, Einzel- und Kleinserienfertigung oder Serienfertigung angaben. Unternehmen mit Massenfertigung wurden nicht berücksichtigt. Im Ergebnis ist die Montage bei 72 Prozent der Rückläufer der Fertigungsart Einzel- und Kleinserienfertigung zuzuordnen. In Serienfertigung montieren 24 Prozent und 4 Prozent sind der Fertigungsart Einmalfertigung zuzuordnen.

3.2 Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden die Erfolgsfaktoren der Fallstudien untersucht um daraus Anforderungen an eine erfolgreiche Montagekonfiguration abzuleiten. Es konnten folgende vier Erfolgsfaktoren der Montagekonfiguration identifiziert werden:

- Die frühzeitige Integration der Montageanforderungen in die Produktentwicklung erhöht die Montagequalität und senkt Montagekosten (vgl. Fallstudien 12 und 13).

- Durch eine an der Produktion orientierte Produktprogrammgestaltung werden Komplexitätskosten reduziert. Die ist beispielsweise durch die Reduzierung der Variantenanzahl oder auch durch die Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts zu erreichen (vgl. Fallstudien 14 und 15).

- Erfolgreiche Montagekonzepte beinhalten die Optimierung der Bereiche Materialbereitstellung, Layout, Produktionsorganisation, Produktionssteuerung und Qualitätsmanagement (vgl. Fallstudien 1, 7, 8 und 11).

- Zur Unterstützung der Anwender bei Montagekonfiguration ist ein geeigneter Methodeneinsatz von Bedeutung für den Erfolg (vgl. Fallstudien 2, 9, 10, 12 und 13).

Aus den Erfolgsfaktoren der Montagekonfiguration können vier Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess abgeleitet werden:

- In einen ganzheitlichen Montagekonfigurationsprozess ist die Produktentwicklung zu integrieren.

- Die montageorientierte Produktprogrammgestaltung ist ein Erfolgsfaktor und ist im Rahmen der Montagekonfiguration zu berücksichtigen.

- Die Montagegestaltung ist in unterschiedliche Teilbereiche zu unterteilen, die nacheinander ausgestaltet werden müssen. Wesentliche Bereiche sind die Materialbereitstellung, die Layoutgestaltung, die Produktionsorganisation, die Produktionssteuerung und die qualitätsorientierte Gestaltung.

- Der Montagekonfigurationsprozess ist durch einen geeigneten Methodeneinsatz zu unterstützen.

Die Anforderungsanalyse auf Basis der Fallstudien zeigte, dass für eine ganzheitliche Gestaltung der Montage die montageorientierte Produktgestaltung einen wesentlichen Beitrag leistet. Die Optimierung des Produktprogramms und insbesondere des Produktordnungssystems zur Steigerung der Standardisierung der Montagetätigkeiten trägt zur wirtschaftlichen Montage bei. Die im Bereich der Montagekonfiguration zu gestaltenden Bereiche lassen sich nach Gestaltungsinhalten und den Gestaltungsaspekten unterscheiden. Die Produktgestaltung wird in die Inhalte Produktprogramm- und Montageobjektgestaltung unterteilt.

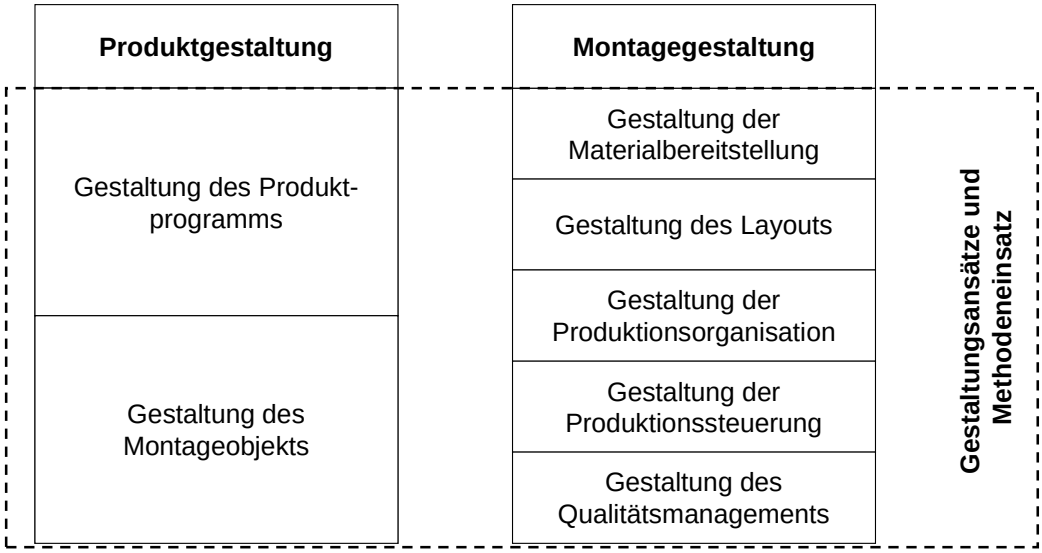


Abbildung 3-9: Gestaltungsbereiche

Die Montage unterteilt sich in die Inhalte Materialbereitstellung, Layoutgestaltung, Produktionsorganisation, Produktionssteuerung und qualitätsorientierte Gestaltung. Die jeweiligen Inhalte gliedern sich wiederum in Gestaltungsansätze und Methoden (vgl. Abb. 3-10).

Produktgestaltung	Gestaltungsansätze	Methoden-/ Instrumenteneinsatz
Gestaltung des Produkt-programms	• Aufbau eines Produktordnungssystems • Reduzierung von Einzelteilen und Baugruppen • Bildung von Produktfamilien • Variantenbereinigung • Verschiebung des Varianten-bestimmungspunkts	• Innovationsaudit • Benchmarking • Simultaneous Engineering • Wissensdatenbank • ABC-Analyse • XYZ-Analyse
Gestaltung des Montageobjekts	• Montageorientierte Gestaltung des Montageobjekts	• Innovationsaudit • Benchmarking • Simultaneous Engineering • Wissensdatenbank • Zeichnungsverwaltung

Abbildung 3-10: Gestaltungsansätze und Methoden zur Produktgestaltung

Die Gestaltungsansätze sowie Methoden sind der Produktprogramm- und Montageobjektgestaltung zugeordnet (vgl. Abb. 3-10). Im Bereich der Produktprogrammgestaltung werden insbesondere die Gestaltungsansätze der Produktordnungssysteme realisiert. Im Bereich der Gestaltung des Montage-

objekts konnten keine konkreten Gestaltungsansätze identifiziert werden. Auch der Montagegestaltung können auf Basis der Fallstudien den Bereichen Materialbereiststellung, Layout, Gestaltung der Produktionsorganisation, Gestaltung der Produktionssteuerung und Gestaltung des Qualitätsmanagements Methoden und Gestaltungsansätze zugeordnet werden (vgl. Abb. 3-11).

Montagegestaltung	Gestaltungsansätze	Methoden-/ Instrumenteneinsatz
Gestaltung der Materialbereitstellung	• Zentrale Bevorratung • Anlieferung in Montageboxen • Lieferanten-Kanban • JIT	• Stärken-Schwächen-Analyse • ABC-/XYZ-Analyse
Gestaltung des Layouts	• Insellayout • Flexibles Montagelayout • Segmentierung	• Stärken-Schwächen-Analyse • Schnittstellenanalyse • ABC-/XYZ-Analyse
Gestaltung der Produktionsorganisation	• Prämienlohnsystem • Eigenverantwortung der Mitarbeiter	
Gestaltung der Produktionssteuerung	• Ziehende Montage	• Stärken-Schwächen-Analyse
Gestaltung des Qualitätsmanagements	• Visualisierung • 5 S • KVP-Prozesse	• Qualitätsregelkreis

Abbildung 3-11: Gestaltungsansätze und Methoden zur Montagegestaltung

Neben der Analyse der Gestaltungsbereiche konnten auf Basis der Fallstudienanalyse Ziele, die die mit der Produkt- und Montagegestaltung verfolgt werden, ermittelt werden.

Ziele der Produkt- und Montagegestaltung
• Realisierung eines kontinuierlichen Verbrauchs
• Reduzierung von Durchlaufzeiten
• Steigerung der Losgröße je Montageschritt
• Reduzierung der Bestände
• Erhöhung der Liefertreue
• Reduzierung der Montagekosten
• Vermeidung von Fehllieferungen
• Erhöhung der Prozess- und Produktqualität

Abbildung 3-12: Ziele der Produkt- und Montagegestaltung

Eine Übersicht der im Rahmen der Fallstudien angestrebten Ziele ist in Abbildung 3-12 dargestellt. Die Ziele können in Zeit-, Kosten- und Qualitätsziele unterteilt werden. Dem Zeitziel sind die Reduzierung von Durchlaufzeiten sowie die Erhöhung der Liefertreue zuzuordnen. Unter den Begriff des Kostenziels können die Realisierung eines kontinuierlichen Verbrauchs, die Steigerung der Losgröße, die Reduzierung der Bestände und die Reduzierung der Montagekosten zusammengefasst werden. Dem Bereich Qualitätsziel sind die Vermeidung von Fehllieferungen und die Erhöhung der Prozess- und Produktqualität zuzuordnen.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse aus den Fallstudien und den Vorschlägen zur Montagekonfiguration aus der Literatur wurden Experten um Aussagen hinsichtlich der Relevanz befragt.

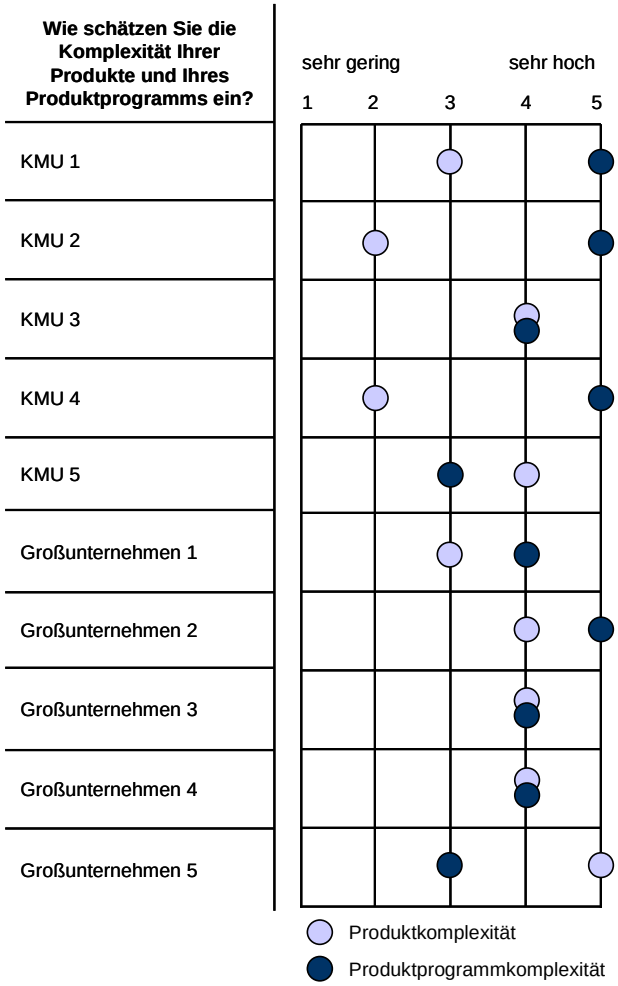


Abbildung 3-13: Charakterisierung der Produkte

Um eine Zuordnung zu den Unterschieden hinsichtlich kleiner und großer Unternehmen sowie hinsichtlich der Komplexität vornehmen zu können, erfolgte zunächst eine Selbstpriorisierung (vgl. Abb. 3-13). Diese zeigt, dass die Unternehme eine hohe Komplexität ihrer Produkte und ihres Produktprogramms zu bewältigen haben. Vor diesem Hintergrund wurden Fragen nach der Ausrichtung der Montage gestellt (vgl. Abb. 3-14).

Die Beantwortung der Frage nach der Ausrichtung der Montage erfolgte vor der Tatsache, dass in den Unternehmen der Experten die Fertigungstiefe kleiner 40 % der Wertschöpfung betrug sowie die Losgröße in der Montage sich auf 5 - 20 Stück belief.

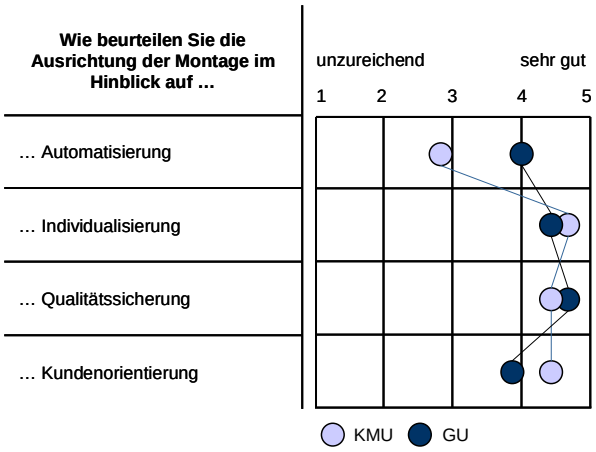


Abbildung 3-14: Ausrichtung der Montage

Zur Identifikation von Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess wurden die Unternehmen bezüglich der die Montage beeinträchtigenden Rahmenbedingungen befragt (vgl. Abb. 3-15). Insbesondere die großen Auftragsschwankungen werden bei KMU als stark negativ beeinflussend empfunden. Hohe Flexibilitäts- und Variantenanforderungen und eine ungenügend abgestimmte Zuliefererlogistik nennen sowohl GU als auch KMU als stark beeinträchtigend. Eine personelle Ressourcenknappheit, unklare Verantwortlichkeiten und eine zu geringe Mitarbeiterqualifikation liegt bei den befragten Unternehmen nicht oder kaum vor. Aus den Ergebnissen resultieren folgende Anforderungen an einen Prozess zur Montagekonfiguration bei KMU:

- Neue Montagekonzepte müssen kostengünstige Lösungen bieten und die finanziellen und zeitlichen Ressourcen nicht unnötig belasten.
- Neue Montagekonzepte müssen dazu geeignet sein, die hohen Flexibilitätsanforderungen der KMU zu beherrschen.
- Ansätze aus dem Bereich der Mitarbeiterqualifikation und der Organisationsgestaltung müssen nur am Rande betrachtet werden.
- Die Gestaltung der Logistik muss Bestandteil eines Montagekonfigurationsprozesses sein.

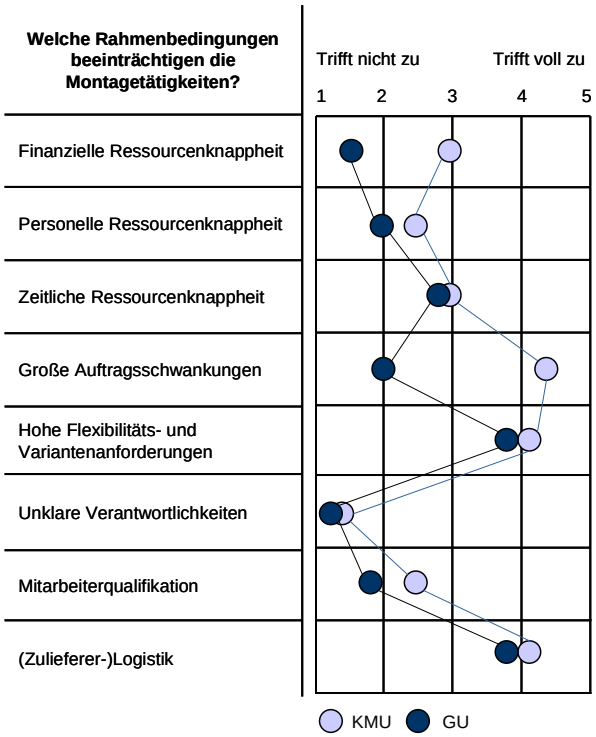


Abbildung 3-15: Die Montagetätigkeiten beeinträchtigende Rahmenbedingungen

Im Vergleich zum Wettbewerber schätzen sich sowohl GU als auch KMU in den Bereichen Qualität, Einhaltung des Liefertermins, Kundenorientierung, Problemlösungskompetenz und Kreativität deutlich besser ein. GU schätzen sich zudem bezüglich ihrer Flexibilität und der Durchlaufzeiten besser als die Wettbewerber ein. KMU geben demgegenüber an, dass sie bezüglich der beiden genannten Größen in etwa genauso gut wie der Wettbewerb sind. Auch

bezüglich der Montagekosten sind KMU der Auffassung, dass diese denen der Wettbewerber ähnlich sind. Zur Verbesserung der Situation gegenüber den Wettbewerbern sind demzufolge im Rahmen der Montagekonfiguration insbesondere Konzepte und Vorgehensweisen zu entwickeln, die die Montagekosten reduzieren, die Flexibilität der Montage erhöhen und die Durchlaufzeiten in der Montage verringern.

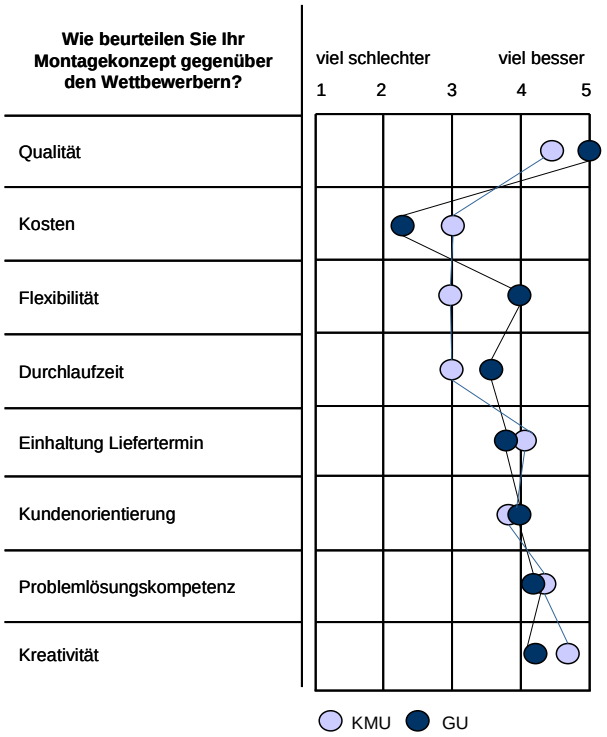


Abbildung 3-16: Beurteilung des Montagekonzepts gegenüber Wettbewerber

Zur Erarbeitung eines zielorientierten Montagekonfigurationsprozesses wurden die Unternehmen dazu befragt, welche Ziele sie mit der Montagegestaltung verfolgen (vgl. Abb. 3-17). Zudem sollten die Experten angeben, wie zufrieden sie mit der Ausgestaltung des eigenen Montageprozesses sind. Bei der Frage, welche Ziele mit der Gestaltung der Montage verfolgt werden, nennen die Experten der KMU die Reduzierung von Kosten, die Erhöhung der Mengenflexibilität, die Reduzierung von Durchlaufzeiten, die Erhöhung der Liefertreue, die Erhöhung der Produktqualität und die Erhöhung der Prozessqualität als wesentliche Ziele. Die Erhöhung der Variantenflexibilität und die Realisierung eines breiten Produktspektrums sind Ziele der Montagegestaltung, deren

Verfolgung im mittleren Bereich liegt. Auch bei den GU werden alle der genannten Ziele mindestens mittel verfolgt. Auf Basis der Befragungsergebnisse sind folgende Ziele bei der Montagekonfiguration zu berücksichtigen:

- Kostenziele (Kostenreduzierung),
- Flexibilitätsziele (Erhöhung der Mengenflexibilität, Erhöhung der Variantenflexibilität, Realisierung eines breiten Produktspektrums),
- Zeitziele (Reduzierung von Durchlaufzeiten, Erhöhung der Liefertreue) und
- Qualitätsziele (Erhöhung der Produktqualität, Erhöhung der Prozessqualität).

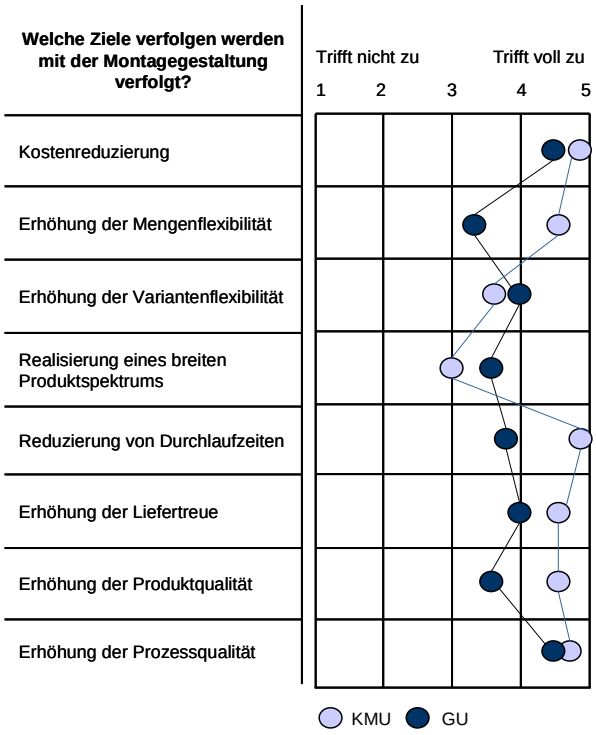


Abbildung 3-17: Ziele der Montagegestaltung

Die Frage nach der Zufriedenheit der Experten mit der Ausgestaltung des Montageprozesses ergab, dass KMU mit der Organisationskultur, der Prozessgestaltung, der Erfüllung von Kundenanforderungen und dem Handlungsfreiraum der Mitarbeiter zufrieden sind. Nur mittel oder gering zufrieden sind sie mit der Produktgestaltung, den finanziellen Ressourcen, der Anzahl von

Verbesserungsvorschlägen und den vorhandenen Leistungsanreizen. Im Gegensatz zu GU sind die Vertreter der KMU mit der Produktionslogistik zufrieden. GU sind demgegenüber mit der Organisationskultur, den finanziellen und personellen Ressourcen, der Erfüllung von Kundenanforderungen und dem Handlungsfreiraum der Mitarbeiter überdurchschnittlich hoch zufrieden.

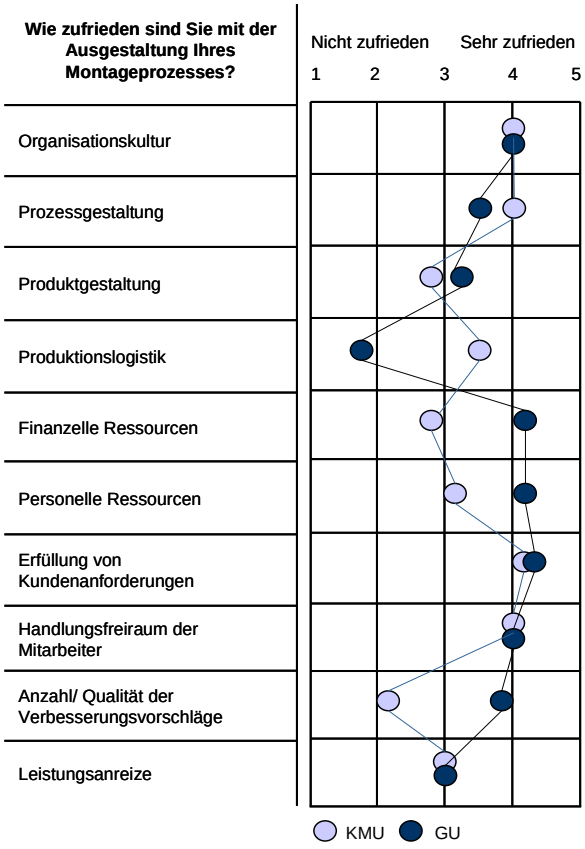


Abbildung 3-18: Zufriedenheit mit der Ausgestaltung des Montageprozesses

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse sind folgende Handlungsschwerpunkte im Bereich der Montagekonfiguration zu setzen:

- Integration der montageorientierten Produktgestaltung in den Montagekonfigurationsprozess,
- Schaffung von Lösungen, die die finanziellen Ressourcen gering belasten und
- Stärkung der Einbindung von (Montage)-Mitarbeitern bei der Lösungsfindung.

Zur Analyse der befragten Unternehmen wurde zudem jeweils eine SWOT-Analyse durchgeführt. Dabei wurden die Experten gebeten, die Montage ihres Unternehmens bezüglich der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken einzuordnen. Nachfolgend werden die Ergebnisse getrennt nach GU und KMU zusammenfassend vorgestellt.

Abbildung 3-19: SWOT-Analyse der Montage von Experten aus Großunternehmen

Als Stärken gaben die Unternehmensvertreter beispielsweise gut ausgebildete Mitarbeiter und eine hohe Produktqualität. Zudem nannten mehrere Unternehmen eine hohe Innovationsstärke als Stärke des eigenen Unternehmens. Schwächen sind geringe Stückzahlen, hohe Kosten und teilweise eine geringe Liefererfüllung. Als Chance sehen die Experten beispielsweise die Realisierung einer projektbezogenen Fertigung oder die Identifikation von neuen Kunden für bereits bestehende Produkte. Ein Risiko ist nach Meinung mehrerer Experten die Konkurrenz aus China und ein gegebenenfalls auftretender Know-How-Abfluss an die Konkurrenz. Bei der SWOT-Analyse der GU wird deutlich, dass bei den genannten Punkten nur geringe Übereinstimmungen zwischen den Aussagen vorliegen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Probleme und Lösungen für GU heterogen sind.

Demgegenüber ist bei den SWOT-Analysen mit den Vertretern der KMU in allen vier Bereichen eine hohe Anzahl von Mehrfachnennungen zu verzeichnen (vgl. Abb. 3-20).

Abbildung 3-20: SWOT-Analyse der Montage von Experten aus mittelständischen Unternehmen

Als Stärke des Unternehmens werden sowohl eine hohe Innovationsstärke, einen hohe Produktqualität als auch eine hohe Flexibilität von mehreren Experten genannt. Schwächen sind laut Aussage von jeweils mehreren Experten eine zu hohe Kundenorientierung und dadurch zu hohe Variantenanzahl sowie hohe Lohnkosten. Als Chance sehen die Experten der KMU die Erschließung von neuen Märkten sowie die Entwicklung neuer innovativer Produkte. Diese Chancen wurden jeweils von mehreren Experten genannt. Risiken sind nach Angabe mehrerer Experten hohe Kosten, um die Variantenvielfalt und Qualität aufrechterhalten zu können sowie die Konkurrenz aus Niedriglohnländern. Im letzten Punkt stimmen dabei die Experten der KMU mit denen der GU überein. Zusammenfassend kann aus den SWOT-Analysen geschlossen werden, dass sich KMU branchenübergreifend ähnlichen Situationen gegenübersehen und sowohl ähnliche Probleme als auch Stärken aufweisen. Lösungen im Bereich der Montagekonfiguration müssen dazu beitragen, die aufgrund der hohen

Kundenorientierung vorliegende Variantenzahl zu beherrschen und zu reduzieren. Neben der Anforderung von kostengünstigen Montagelösungen ist es notwendig, die vom Kunden geforderte Qualität zu realisieren, um gegen die Konkurrenz aus Niedriglohnländern bestehen zu können.

Zur Konkretisierung der Ursachen und Impulse, die die Änderung der Montage auslösen, gaben KMU als auch GU den technischen Fortschritt, neue Produkte sowie Kostendruck an. Bei KMU haben zudem Kundenbedürfnisse einen hohen Einfluss auf die Anpassung des Montageprozesses. Die Ideengebung von Lieferanten sowie der Markteintritt neuer Wettbewerber geben sowohl bei KMU als auch bei GU eher untergeordnete Impulse zur Anpassung der Montage.

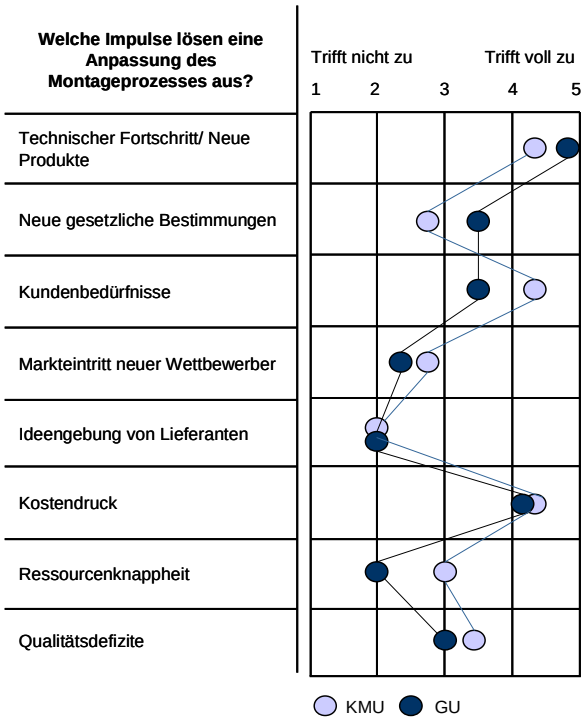


Abbildung 3-21: Impulse zur Anpassung des Montageprozesses

Aus dem Ergebnis lassen sich folgende Anforderungen festhalten:

- Ein Montagekonfigurationsprozess muss die Generierung neuer Produkte flexibel unterstützen.
- Die Kundenbedürfnisse müssen bei der Montagekonfiguration berücksichtigt werden.

- Im Rahmen der Montagekonfiguration sind kostengünstige und qualitätsorientierte Lösungen zu generieren.

Im Rahmen der Montageplanung sind bei GU und KMU unterschiedliche Kriterien von Relevanz (vgl. Abb. 3-22).

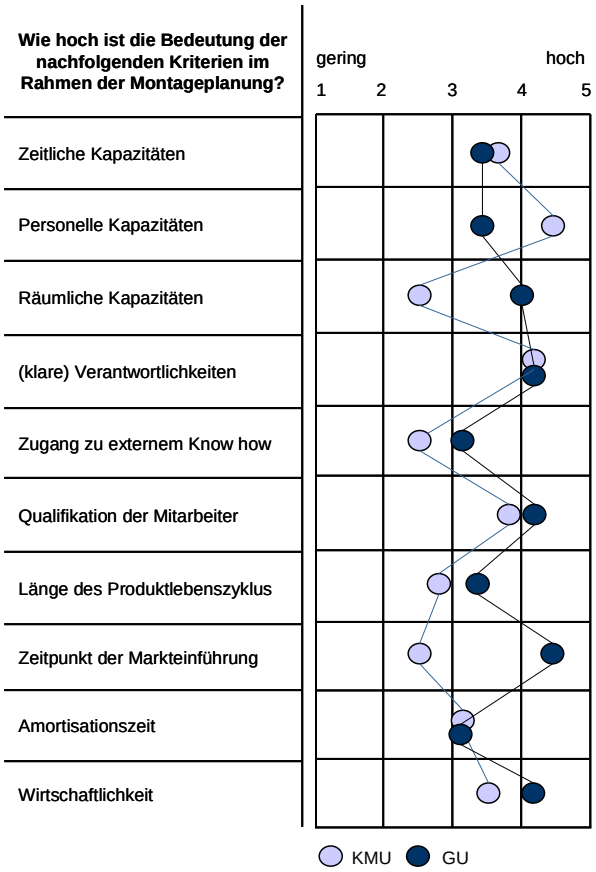


Abbildung 3-22: Relevante Kriterien im Rahmen der Montageplanung

Bei KMU sind die personellen Kapazitäten, Verantwortlichkeiten und die Qualifikation der Mitarbeiter wesentliche Kriterien bei der Montageplanung. Räumliche Kapazitäten, der Zugang zu externem Know-How sowie der Zeitpunkt der Markteinführung sind bei KMU nur von untergeordneter Bedeutung. Für GU ist demgegenüber der Zeitpunkt der Markteinführung ein wichtiges Kriterium im Rahmen der Montageplanung. Die Ergebnisse münden in folgenden Anforderungen an die Montageplanung:

- Personelle Ressourcen dürfen im Rahmen der Montageplanung nicht unnötig beansprucht werden.

- Im Bereich der Montageplanung sind klare Verantwortlichkeiten zu definieren.

- Eine hohe Qualifikation der Mitarbeiter in der Montageplanung ist notwendig.

Zur Identifikation von Defiziten im Bereich der Montageplanung und im Bereich der Bewertung von Montagekonzepten wurden die Experten hinsichtlich des Anwendungsgrads strukturierter Vorgehensweisen in den genannten Bereichen befragt (vgl. Abb. 3-23). Das Ergebnis macht deutlich, dass bei KMU nur in Teilen strukturierte Vorgehensweisen bei der Planung und Bewertung der Montage angewendet werden. Die Defizite bei der Planung und Bewertung der Montage sind bei GU deutlich geringer. Demzufolge liegt Bedarf an einer praxisorientierten und strukturierten Vorgehensweise zur Montageplanung und Montagebewertung bei KMU vor.

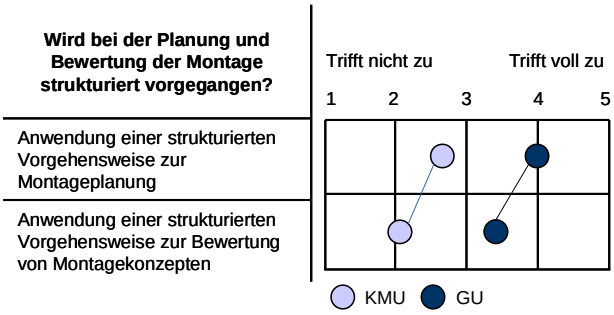


Abbildung 3-23: Montageplanung und -bewertung

Die Bewertung der Montagekonzepte erfolgt sowohl bei KMU als auch bei GU hinsichtlich der Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Flexibilitätswirkungen der einzusetzenden Konzepte (vgl. Abb. 3-24). Im Bereich der Kosten als Zielgröße ist dabei zwischen KMU und GU kein Unterschied zu verzeichnen. Bei den drei weiteren Größen sind Unterschiede festzustellen, wobei jedoch alle Ergebnisse über dem mittleren Bereich liegen. Dieses Ergebnis stimmt mit den bereits ermittelten Zielgrößen der Montagegestaltung überein. Auch die Bewertung der Montagekonzepte hat hinsichtlich von Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Flexibilitätszielen zu erfolgen.

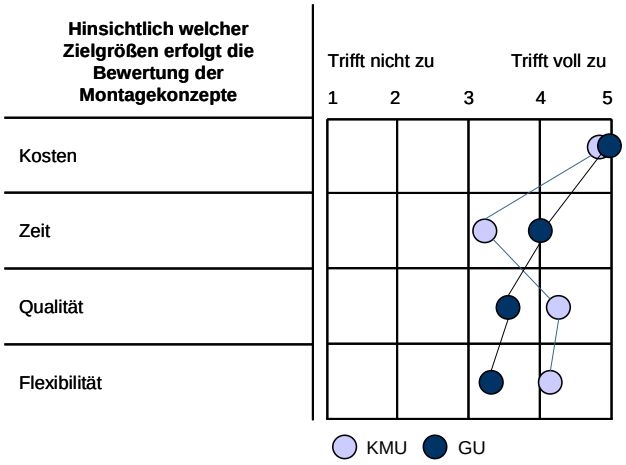


Abbildung 3-24: Zielgrößen bei der Bewertung von Montagekonzepten

Wesentliche Probleme bei der Bewertung von Montagekonzepten sind bei KMU ein zu zeitaufwändiger Bewertungsprozess sowie die Unterbewertung von Chancen neuer Montagekonzepte (vgl. Abb. 3-25). Der Mangel an Bewertungskonzepten ist zudem eine Schwierigkeit für KMU im Rahmen der Bewertung. GU schätzen die zu frühe Forderung nach monetärer Bewertung sowie die Unterbewertung von Chancen als die wesentlichen Probleme bei der Montagebewertung ein. Unter Berücksichtigung der Aussagen der Experten sind folgende Anforderungen an ein Montagebewertungskonzept für KMU abzuleiten:

- Die für die Bewertung der Montagekonzepte notwendigen Informationen müssen den Entscheidungsträgern ausreichend detailliert und aussagekräftig bereitgestellt werden.
- Geeignete Methoden und Instrumente zur Bewertung von Montagekonzepten müssen aufgezeigt werden.
- Der Zeitaufwand für die Bewertung der Montagekonzepte muss möglichst gering sein.
- Die Chancen, die mit der Umsetzung neuer Montagekonzepte erwartet werden, müssen aufgezeigt und bewertet werden.

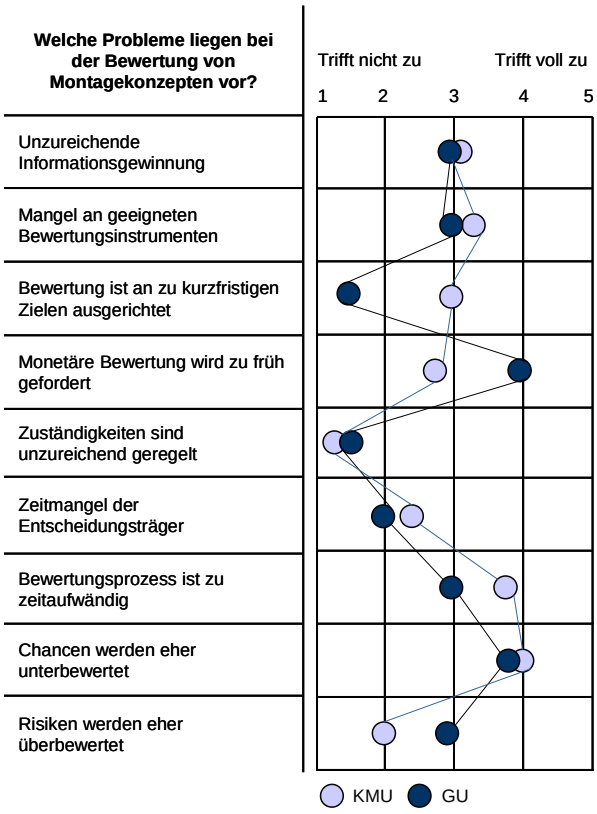


Abbildung 3-25: Probleme bei der Bewertung von Montagekonzepten

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden neben den allgemeinen Rahmenbedingungen zur Gestaltung eines Montagekonfigurationsprozesses ausgewählte Methoden zur Montageplanung analysiert. Dazu wurden die Experten gebeten, in der Literatur häufig genannte Methoden nach Bedeutung und Anwendungsgrad, einzuschätzen (vgl. Abb. 3-26). Folgende Methoden wurden analysiert: Kreativitätstechniken, montageorientiertes Benchmarking, Simultaneous Engineering, DFA/DFMA, Simulationsprogramme, Vorranggraph und Materialflussmatrix/-analyse. Die Befragung ergab, dass Kreativitätstechniken sowohl bei GU als auch bei KMU sowohl eine hohe Bedeutung als auch einen hohen Anwendungsgrad aufweisen. Die Ansätze DFA/DFMA werden von GU und KMU als wichtig eingeschätzt. Der Anwendungsgrad ist jedoch bei GU deutliche höher als bei KMU. Visuelle Ansätze, wie beispielsweise der Einsatz eines Vorranggraphen werden bei KMU als bedeutsamer eingeschätzt als bei GU. Auch der Anwendungsgrad derartiger Ansätze ist bei KMU höher. Die Methode Materialflussanalyse wird sowohl von KMU als auch GU als wichtig eingeschätzt. Der Anwendungsgrad ist bei KMU jedoch etwas höher. Zusammen-

fassend kann die Aussage getroffen werden, dass bei KMU kostenaufwändige Methoden, wie beispielsweise DFA/DFMA geringer eingesetzt werden als bei GU. Kostengünstigere, visuelle Methoden, wie der Vorranggraph werden demgegenüber häufiger von KMU verwendet.

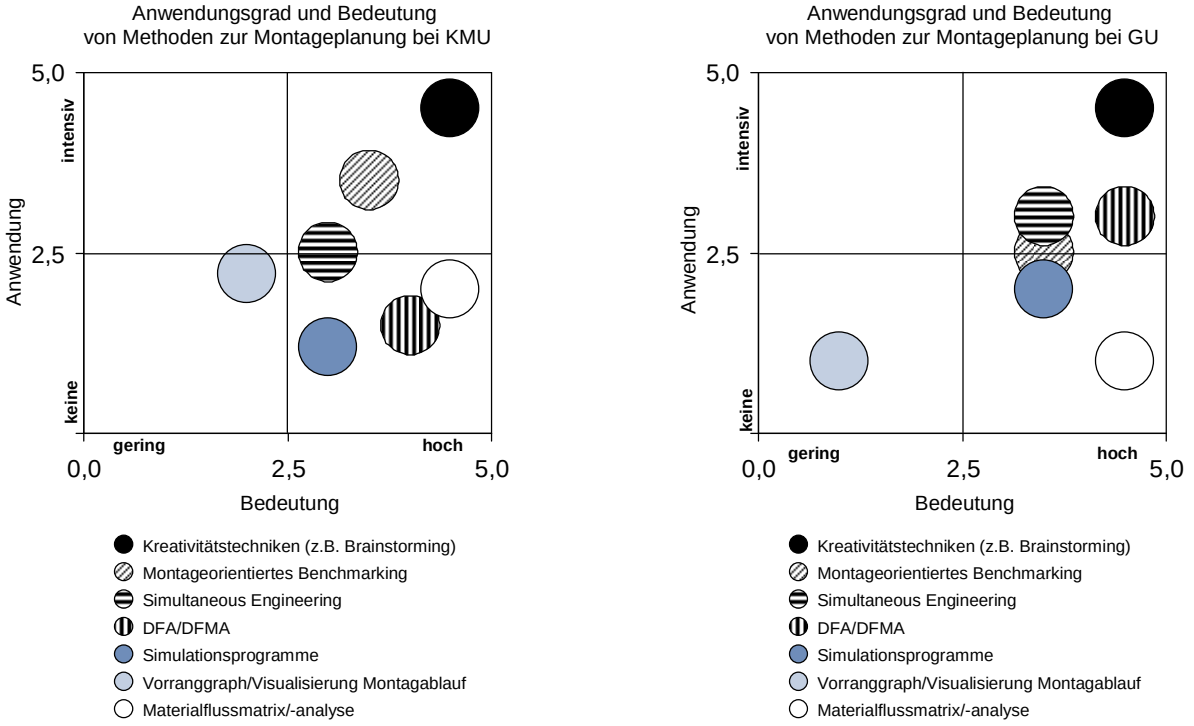


Abbildung 3-26: Anwendungsgrad und Bedeutung von Methoden zur Montageplanung

Neben den Methoden zur Montageplanung wurden Methoden zur monetären Bewertung von Montagekonzepten analysiert (vgl. Abb. 3-27). Die Experten wurden dazu aufgefordert, in der Literatur genannte Methoden nach ihrem Anwendungsgrad und der Bedeutung im Unternehmen, einzuteilen. Folgende Methoden zur monetären Bewertung von Montagekonzepten wurden beurteilt: Kosten-Nutzen-Analyse, Nutzwertanalyse, Break-Even-Analyse, Kosten-/Gewinnvergleichsrechnung und Rentabilitätsrechnung. Im Ergebnis zeigt sich, dass sowohl die Bedeutung als auch der Anwendungsgrad der Methoden bei KMU und GU als durchgängig hoch eingeschätzt wird. Die Nutzwertanalyse ist die einzige Methode, deren Anwendungsgrad bei KMU als unterdurchschnittlich angegeben wird. Eine im Durchschnitt sehr intensive Anwendung bei KMU findet die Methode Kosten-Nutzen-Analyse.

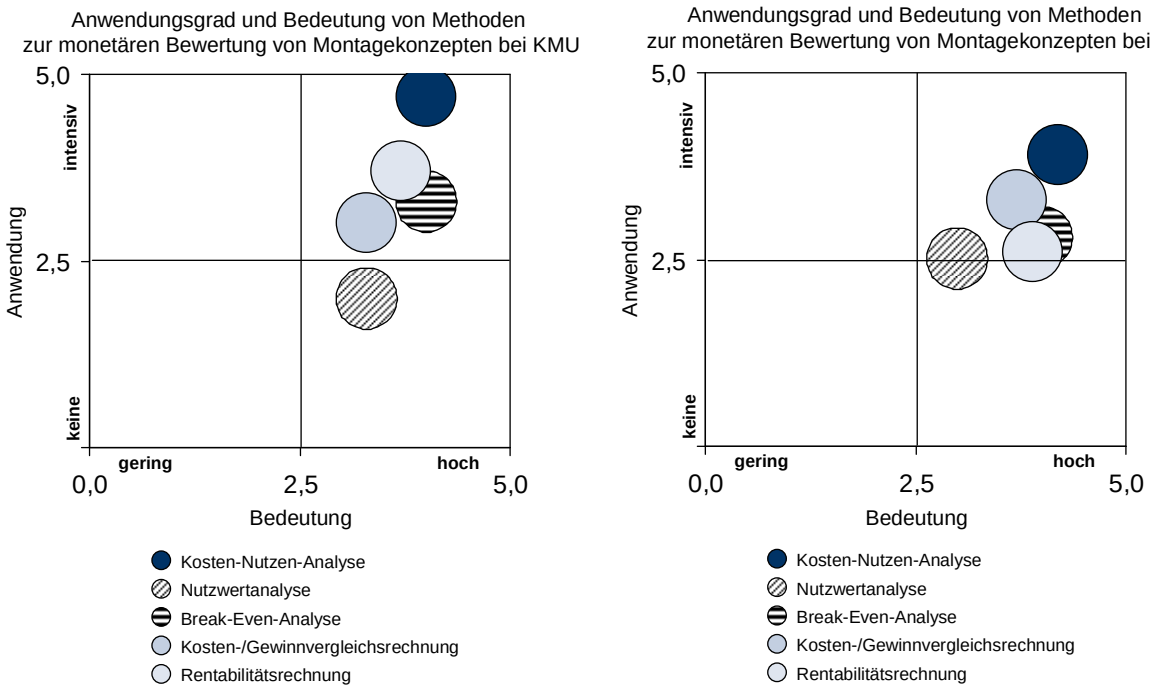


Abbildung 3-27: Anwendungsgrad und Bedeutung von Methoden zur monetären Bewertung von Montagekonzepten

Zur Ermittlung der zukünftigen Entwicklungen der Montage in Unternehmen gaben die Unternehmensvertreter an, wie sie zukünftig die Leistungserstellung in der Montage organisieren (vgl. Abb. 3-28).

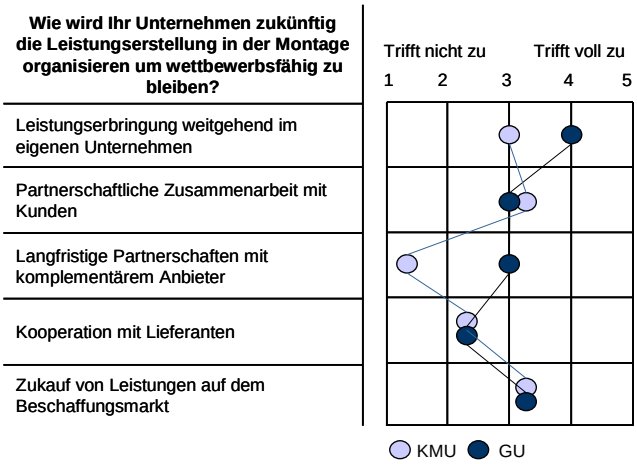


Abbildung 3-28: Zukünftige Leistungserstellung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit

Experten der KMU gaben im Durchschnitt an, dass in Zukunft die Leistungserbringung weitgehend im eigenen Unternehmen stattfinden finden wird, dass eine partnerschaftliche Zusammenarbeit mit Kunden geplant ist und dass der

Zukauf von Leistungen auf dem Beschaffungsmarkt realisiert werden soll. Aus den Antworten ist abzuleiten, dass ein Montagekonfigurationsprozess die Unternehmen dazu befähigen muss, auch in Zukunft die Montage im Unternehmen zu behalten. Zudem müssen neue Montagekonzepte Ansätze beinhalten, die den Zukauf von Leistungen auf dem Beschaffungsmarkt ermöglichen, wie es beispielsweise durch den Einsatz von Modulen und Systemen möglich ist.

Aus den Auswertungen der Expertengespräche können acht Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess für KMU abgeleitet werden. Die Anforderungen sind in Abbildung 3-29 zusammenfassend dargestellt.

Anforderungen an den Montagekonfigurationsprozess
• Standardisierte Vorgehensweise zur Planung und Bewertung von Montagekonzepten
• Berücksichtigung und Optimierung der montageorientierten Produktgestaltung
• Berücksichtigung und Optimierung der montageorientierten Prozessgestaltung
• Optimierung der Produktionslogistik in der Montage
• Berücksichtigung von finanziellen Aspekten und Kosten bei der Montagegestaltung
• Lösung für Montagen mit hohen Anforderungen an die Flexibilität
• Lösung für Montagen mit einer hohen Variantenvielfalt
• Lösung für Montagen mit einer hohen Schwankung von Aufträgen
• Lösung für Personalplanung und Regelung von Verantwortlichkeiten nur bedingt notwendig

Abbildung 3-29: Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess

Neben den spezifischen Anforderungen an den Montagekonfigurationsprozess für KMU konnten im Rahmen der Expertengespräche verschiedene Ziele identifiziert werden, die bei der Montagekonfiguration und der Auswahl von Montagekonzepten zu berücksichtigen sind. Die vier ermittelten Zielgruppen „Kosten“, „Zeit“, „Flexibilität“ und „Qualität“ sind in Abbildung 3-30 zusammengefasst und ausgearbeitet. Für jede der Zielgruppen wurden zudem Unterziele identifiziert, die der Zielkonkretisierung dienen.

Bei der Montagekonfiguration zu berücksichtigende Ziele
• Kostenziele: Reduzierung von Montagekosten • Flexibilitätsziele: Erhöhung der Mengen- und Variantenflexibilität, Realisierung eines breiten Produktspektrums • Zeitziele: Erhöhung der Liefertreue, Reduzierung von Durchlaufzeiten • Qualitätsziele: Erhöhung der Produktqualität, Erhöhung der Prozessqualität

Abbildung 3-30: Bei der Montagekonfiguration zu berücksichtigende Ziele

Die für den Bereich der Montagekonzeptbewertung ermittelten Anforderungen sind in Abbildung 3-31 dargestellt. Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse verdeutlichen die Unterschiede der Montage zwischen KMU und GU. Insbesondere die Anforderungen an die Flexibilität als Folge der hohen Kundenorientierung sind bei KMU deutlich höher als bei GU. Auch sind finanzielle Restriktionen bei KMU häufiger als bei GU im Rahmen der Montagegestaltung eine einschränkende Rahmenbedingung.

Anforderungen an die Montagekonzeptbewertung
• Strukturierte Vorgehensweise zur Bewertung von Montagekonzepten • Berücksichtigung von Kosten-, Zeit-, Flexibilitäts- und Qualitätszielen bei der Montagekonzeptbewertung • Übersichtliche und einfache Darstellung geeigneter Bewertungsansätze, Methoden und Instrumente zur Auswahl von Montagekonzepten • Aufzeigen der Chancen und positiven Wirkungen neuer Montagekonzepte

Abbildung 3-31: Zusammenfassung der Anforderungen an die Montagekonzeptbewertung

Dies spiegelt sich auch im unterschiedlichen Methodeneinsatz von GU und KMU wider. Zudem konnte durch die Expertenbefragung die Gewichtung der Ziele der KMU bei der Montagegestaltung sowie Anforderungen an ein Montagebewertungskonzept identifiziert werden. Die gewonnen Ergebnisse fließen in die Modellbildung ein.

Der Schwerpunkt der Fragebogenaktion lag auf der Identifikation von Parameterwerten der Einflussgrößen. Dadurch konnte auch eine Spezifizierung der Anforderungen an die Montagekonfiguration erfolgen. Zudem erfolgte eine detaillierte Analyse der von den Unternehmen mit der Montagegestaltung verfolgten Ziele. Die Gewichtung der angestrebten Ziele ist in Abbildung 3-32 dargestellt.

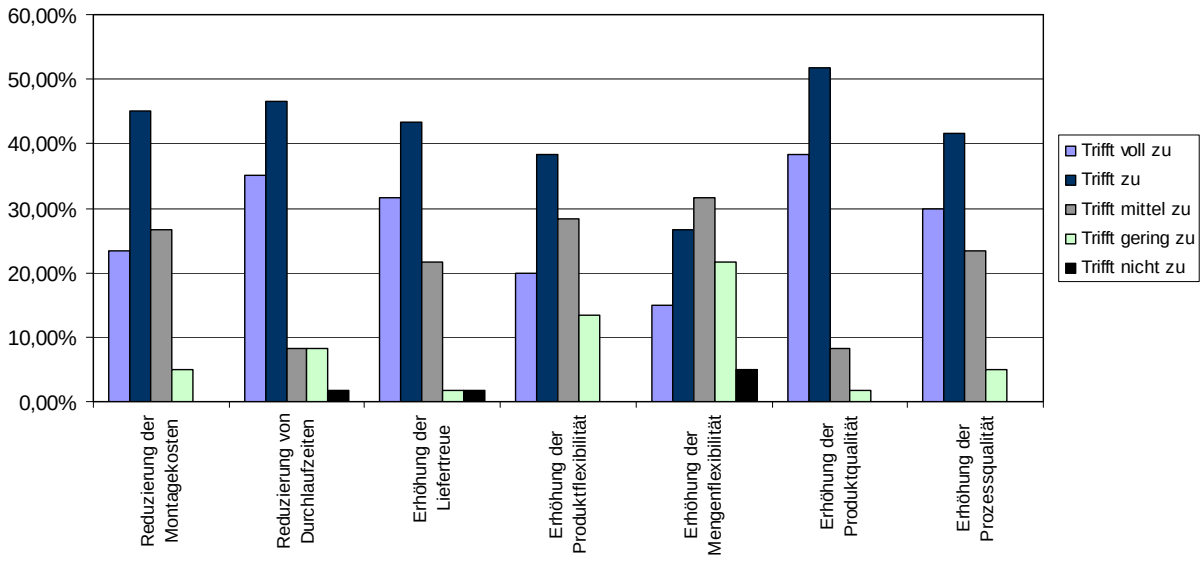


Abbildung 3-32: Mit der Montagekonfiguration verfolgte Ziele

Zudem wurden geeignete Gestaltungsansätze und Methoden je Gestaltungsbereich analysiert. Die Analyse der Ansätze ergab, dass Unternehmen sowohl Ansätze zur Produktgestaltung als auch Ansätze im Bereich der Montageplanung erfolgreich realisieren und sie die Produkt- sowie die Montagegestaltung als gleich bedeutsam einschätzen. Ein weiteres Ergebnis war, dass in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößenkombinationen unterschiedliche Gestaltungsansätze mit Erfolg zur Zielerreichung eingesetzt werden, so dass allgemeingültige Aussagen nicht zielführend sind.

Produktgestaltung	Montagefeinplanung
Mögliche Gestaltungsansätze	**Mögliche Gestaltungsansätze**
• Vermeidung unnötig enger Toleranzen • Realisierung von einfachen Bewegungsmustern beim Fügen • Realisierung gut zugänglicher Griffstellen • Prüf-/testfreundl. Objektgestaltung • Bauteilintegration • Demontageorientierte Gestaltung • Anwendung der Baukastenstrategie • Einsatz von Modulen und Systemen • Einsatz von Gleichteilen • Einsatz von Plattformen • Verwendung von Standard- und Normteilen • Verlagerung Variantenbestimmungspunkts ans Ende der WSK	• Implementierung der Holpflicht (Kanban-Prinzip) • Vermeidung von Zwischenlagern (JIT/JIS) • Selbstkontrolle der Montagequalität • An den Montageschritten orientierte, geordnete Teilebereitstellung • Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf • Parallelisierung von Montagetätigkeiten

Abbildung 3-33: Gestaltungsansätze zur Produktgestaltung und Montagefeinplanung

Die analysierten Gestaltungsansätze zur Produktgestaltung und Montagefeinplanung sind in Abbildung 3-33 zusammengefasst. Aus den Ergebnissen der Gestaltungsansatzanalyse können folgende Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess für KMU abgeleitet werden:

- Ein Montagekonfigurationsprozess für KMU muss sowohl Ansätze zur Produkt- als auch zur Montagegestaltung beinhalten.

- Empfehlungen für Gestaltungsansätze müssen unter Berücksichtigung der jeweiligen unternehmensspezifischen Einflussgrößen gegeben werden.

Weiter wurden die Methoden und Instrumente sowohl bezüglich ihrer Eignung für KMU als auch bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeiten beurteilt (vgl. Abb. 3-34). Dabei zeigte sich, dass sich einige Methoden für mehrere Gestaltungsbereiche eingesetzt werden. Beispielsweise sind Kreativitätstechniken sowohl für die Montageobjektgestaltung als auch die Gestaltung der Produktordnungssysteme geeignet. Die Materialflussanalyse kann zudem sowohl für die Be-

reitstellungs- als auch die Layoutgestaltung mit hohem Erfolg eingesetzt werden. Auch zeigte sich, dass die Unternehmen einen Teil der in der Literatur beschriebenen Methoden nicht einschätzen konnten, was auf Informationsdefizite hindeutet.

Methodeneinsatz Produktgestaltung	**Methodeneinsatz Montagefeinplanung**
Mögliche Methoden/Instrumente	**Mögliche Methoden/Instrumente**
• Analyse funktionaler Zusammensetzung • Fügematrix • Checkliste Produktstrukturierung • Variantenübersicht/ Variantenbaum • Typen- und Stückzahlenanalyse • Reichweitenanalyse • Kreativitätstechniken (z.B. Brainstorming) • Produktbenchmarking (montageorientiert) • Montageerweiterte ABC-Analyse • Simultaneous Engineering • Integrierte Produktentwicklung • DFMA/ DFA/ DFM	• Benchmarking (extern/intern) • Materialflussmatrix • Schnittstellenanalyse • Wertstromanalyse • Analyse logistischer Kennzahlen • Wertzuwachsanalyse • Materialflussanalyse

Abbildung 3-34: Methoden und Instrumente zur Produktgestaltung und Montagefeinplanung

Auf Basis der Analyse des Methoden- und Instrumenteneinsatzes können folgende Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess identifiziert werden:

- Ein Montagekonfigurationsprozess muss einen auf die Aufgabenstellung zugeschnittenen Methodeneinsatz bereitstellen.
- Die Inhalte und Vorgehensweisen der Methoden und Instrumente sind klar darzulegen und ihre Einsatzmöglichkeiten sind den Unternehmen aufzuzeigen.

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Anforderungsanalyse

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden sowohl die Anforderungen an

den Konfigurationsprozess als auch an das Bewertungskonzept ermittelt. Zusätzlich wurden die Zielgrößen, die mit der Montagekonfiguration zu erreichen sind, identifiziert. Die Anforderungsanalyse setzt sich neben der theoretischen Analyse aus drei empirischen Bausteinen zusammen. Diese sind die Analyse von 15 Fallstudien, die Durchführung von 10 Expertengesprächen sowie eine Fragebogenaktion mit 72 Rückläufern.

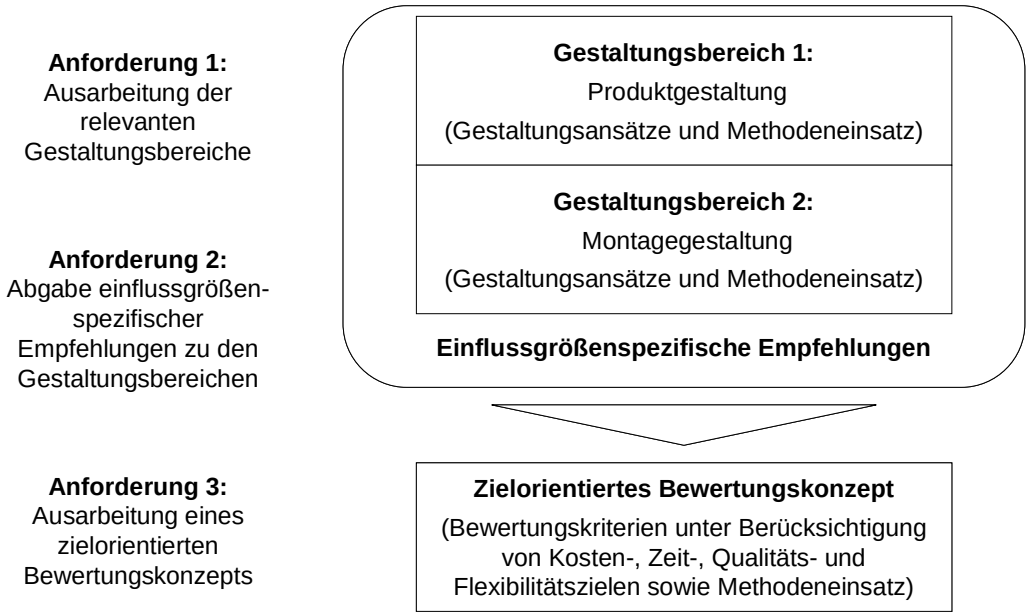


Abbildung 3-35: Anforderungen an einen Konfigurationsprozess für die Kleinserienmontage

Zusammenfassend sind folgende Ergebnisse festzuhalten (vgl. Abb. 3-35): Zur Zielerreichung ist ein Montagekonfigurationsprozess zu gestalten, der sowohl die Produkt- als auch die Montagegestaltung berücksichtigt. Mit der Montagekonfiguration sind Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Flexibilitätsziele zu verfolgen. Ein Konzept zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Montage ist demzufolge an den genannten Zielen auszurichten. Allgemeingültige Aussagen zu einzusetzenden Konzepten und Methoden sind nur bedingt möglich. Vielmehr ist es notwendig, Gestaltungsempfehlungen in Abhängigkeit der unternehmensspezifischen Einflussgrößen zu geben.

4 Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage

4.1 Modellstruktur zur Konfiguration der Kleinserienmontage

Zur Abdeckung der Anforderungen von KMU an einen Montagekonfigurationsprozess, wurde eine Vorgehensweise erarbeitet, der sich aus fünf Phasen zusammensetzt (vgl. Abb. 4-1).

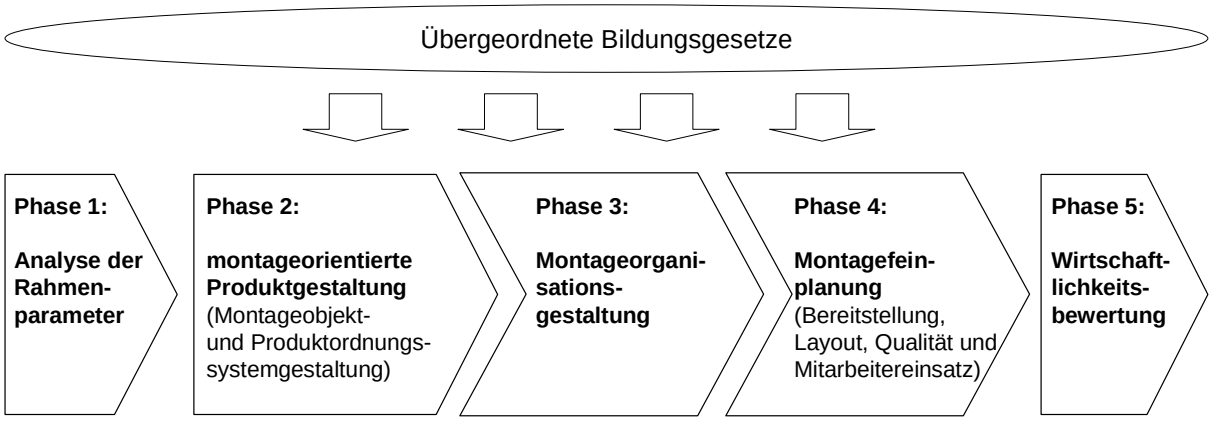


Abbildung 4-1: Fünfphasiger Montagekonfigurationsprozess

Die Phasen orientieren sich an den in der Literatur vorliegenden Montagekonfigurationsprozessen. Die Inhalte der Phasen wurden zudem KMU-spezifisch ausgearbeitet. Nachfolgend werden die fünf Phasen kurz charakterisiert:

Phase 1: Analyse der Rahmenparameter

In der ersten Phase werden die jeweiligen Rahmenbedingungen des Unternehmens und der Montage analysiert. Dies beinhaltet die Charakterisierung der wesentlichen, die Montagekonfiguration beeinflussenden Größen, wie beispielsweise die Mitarbeiteranzahl, die Fertigungsart in der Montage oder die Dynamik aufgrund von Auftragsschwankungen in der Montage.

Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Inhalt der Phase 2 ist die Anpassung der Produkte an die jeweilige Montageaufgabe, sowie die Erarbeitung einer montageorientierten Produktstruktur. Dabei werden Ansätze zur Vereinfachung der Montageaufgabe, wie beispielweise die Bauteilintegration verfolgt. Die Strategien der Produktordnungssys-

teme zeigen Ansätze zur Produktprogrammgestaltung auf. Das Produktordnungsmanagement zielt hierbei auf eine Standardisierung nach innen und Individualisierung nach außen ab. Neben der Standardisierung der Produkte und deren Reifegrad ist die Vereinheitlichung der Prozesse ein wesentlicher Bestandteil des Ansatzes. Ein weiteres Konzept, welches im Rahmen der Produktgestaltung berücksichtigt wird, ist die Verlagerung des Variantenbestimmungspunktes ans Ende der Wertschöpfungskette.

Phase 3: Auswahl der Montageorganisationsform

Die Phase 3 beinhaltet die Auswahl der für die Montageaufgabe geeigneten Montageorganisationsform. Die verschiedenen Organisationsformen lassen sich nach den Kriterien Ortsgebundenheit des Montageobjekts und Ortsgebundenheit des Montageplatzes typologisieren. Es existieren Organisationsformen für alle Ausprägungskombinationen. Im Bereich der Kleinserienmontage realisierte und geeignete Montageorganisationsformen stellen die Baustellenmontage, die Gruppenmontage, die Reihenmontage sowie in Einzelfällen die getaktete Fließmontage dar.

Phase 4: Montagefeinplanung

In Phase 4 werden die Materialbereitstellung, der Materialfluss, der Mitarbeitereinsatz sowie die qualitätsorientierte Gestaltung betrachtet. Berücksichtigt werden dabei Konzepte, die das Fließprinzip unterstützen, wie beispielsweise Kanban, Just-in-Time oder eine an den Montageschritten orientierte Materialbereitstellung sowie Möglichkeiten des flexiblen Mitarbeitereinsatzes. Ein mögliches Gestaltungskonzept im Bereich der Materialflussgestaltung ist die Parallelisierung von Montagelinien. Im Rahmen der Auswahl von Mitarbeitereinsatzstrategien sind Entscheidungen bezüglich der Arbeitszeitmodelle zu treffen.

Phase 5: Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die fünfte Phase beinhaltet eine Bewertung des Nutzens der Ergebnisse der vorherigen Phasen auf Basis der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung. Unter Berücksichtigung der von den Unternehmen geforderten Zielgrößen, wer-

den zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit neben den Kosten auch Zeit-, Flexibilitäts- und Qualitätskennzahlen hinzugezogen. Auch sind Aspekte der Mengen- und Variantenflexibilität sowie die Produkt- und Prozessqualität im Sinne von robusten Prozessen zu untersuchen.

Um den Rahmen zur Gestaltung der Montage kleiner Serien bei KMU abzugrenzen, wurden die erarbeiteten Anforderungen in sechs Bildungsgesetzen gebündelt. Die Bildungsgesetze werden nachfolgend charakterisiert und in Zusammenhang zu den Gestaltungsansätzen des Montagekonfigurationsprozesses gebracht.

- Flussorientierung: Die Produkt- und Ablaufgestaltung hat sich am Flussprinzip zu orientieren. Dazu sind geeignete Konzepte, wie beispielsweise die Parallelisierung von Arbeitsabläufen bei hohem Variantenaufkommen, zu realisieren.

- Schaffung robuster Prozesse: Die Produkt- und Prozessgestaltung muss zum Ziel haben, die Störanfälligkeit von Prozessen zu reduzieren. Die Reduzierung von Montageschritten durch Bauteilintegration verringert beispielsweise die Montageprozesskomplexität und dadurch die Störanfälligkeit.

- Kontinuierliche Verbesserung: Die Montagerealisierung hat sich an den Prinzipien der kontinuierlichen Verbesserung orientieren. Die Prozesse und Strukturen sind derart zu gestalten, dass das Wissen der Mitarbeiter aktiv für Verbesserungen gewonnen werden kann.

- Kundenorientierte, flexible Prozesse: Eine hohe Kundenorientierung ist für KMU die Voraussetzung für den Unternehmenserfolg. Die Prozesse sind vom Kunden weg zu planen. Auf hohe Auftragsschwankungen und heterogen Variantenanforderungen muss flexibel reagiert werden können.

- Organisationsübergreifende Montageplanung: Eine hohe Teamorientierung, auch zwischen Organisationseinheiten, wie sie bei der integrierten Produktentwicklung erfolgt, ist durch geeignete Strukturen und Konzepte

zu realisieren.

- Produktlebenszyklusorientierung: Komplexe Produkte der Einzel- und Kleinserienfertigung weisen in der Regel einen langen Lebenszyklus auf. Der Austausch von Bauteilen ist durch die Verwendung von Modulen und Systemen sowie eine demontagefreundliche Produktgestaltung zu verwirklichen.

Eine Erweiterung erfährt der Prozess zur Montagekonfiguration, indem relevante Einflussgrößen, die in den Phasen 2, 3 und 4 wirken, erarbeitet wurden. Empfehlungen zu Gestaltungsansätzen werden in Abhängigkeit von der Einflussgrößenkombination des betrachteten Unternehmens gegeben. In Abbildung 4-2 sind beispielhaft Einflussgrößen auf die Gestaltungsbereiche Produktordnungssystemgestaltung, Auswahl der Montageorganisationsform und Materialflussgestaltung aufgezeigt. Die Auswahl der Einflussgrößen je Gestaltungsbereich basiert sowohl auf den empirischen als auch auf den theoretischen Analysen. Neben den Einflussgrößen wurden je Gestaltungsbereich Gestaltungsansätze und Methoden identifiziert, die den Unternehmen je nach Einflussgrößenkombination empfohlen werden.

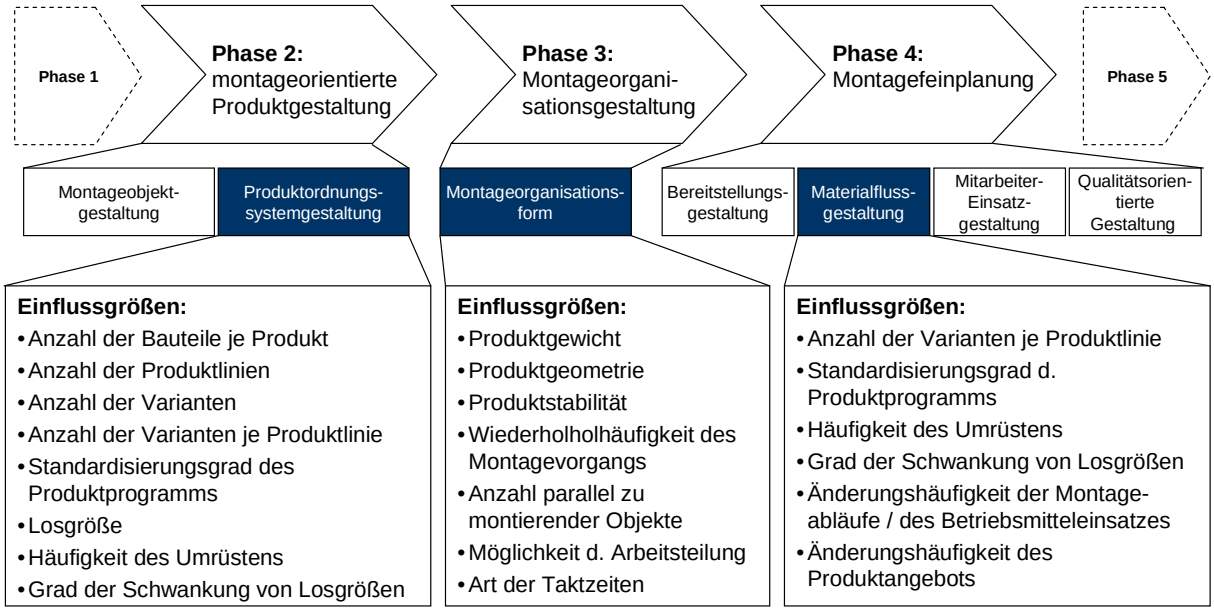


Abbildung 4-2: Beispielhafte Darstellung der Einflussgrößen auf den Montagekonfigurationsprozess

Die Ergebnisse der Modellanalyse und damit die vier Modellbausteine Bildungsgesetze, Montagekonfigurationsprozess, Einflussgrößen sowie Methoden und Gestaltungsansätze werden zu einem ganzheitlichen Modell zusammengefasst. Die Darstellung des Modells zur Konfiguration der Kleinserienmontage bei KMU ist in Abbildung 4-3 abgebildet. Ausgehend von der aktuellen Produkt- und Prozessstruktur des Unternehmens werden entlang des Montagekonfigurationsprozesses Gestaltungsansätze und Methoden identifiziert, die für das Unternehmen geeignet sind. Ergebnis sind Aussagen zu den erwarteten Wirkungen der identifizierten Gestaltungsansätze sowie neue, für das Unternehmen geeignete Montagekonzepte.

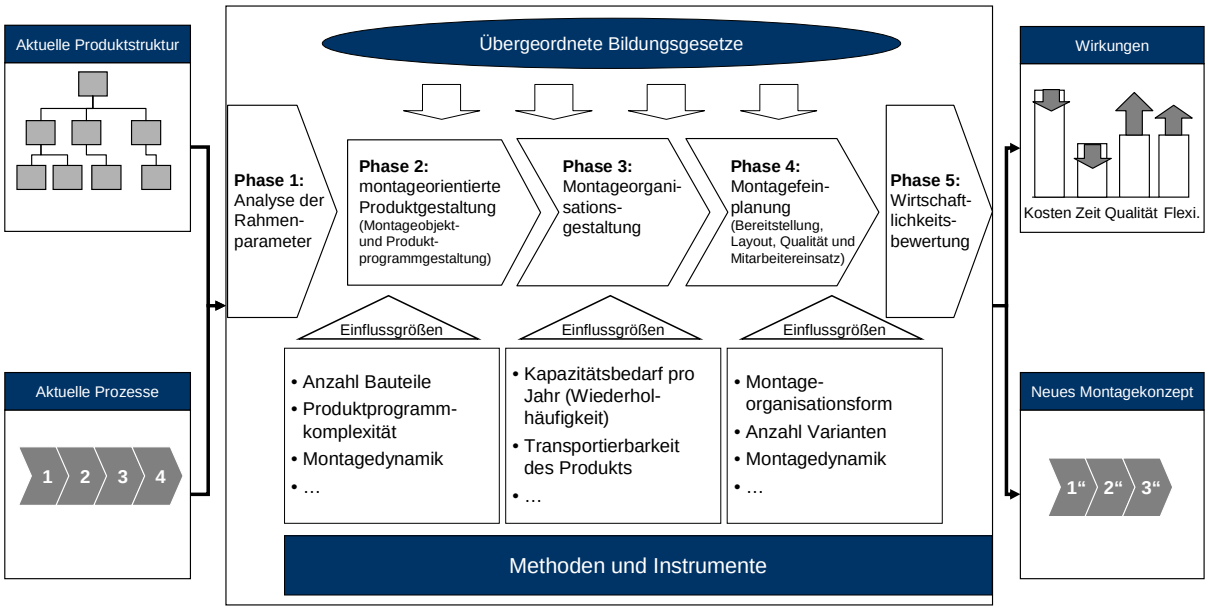


Abbildung 4-3: Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei KMU

4.2 Parametrisierung des Modells

4.2.1 Einflussgrößen auf den Montagekonfigurationsprozess

Zur Ermittlung der unternehmensspezifischen Empfehlungen bezüglich der Gestaltungsansätze wurden Einflussgrößen je Gestaltungsbereich ermittelt und mit konkreten Werten parametrisiert. Unter Einflussgrößen werden die Faktoren verstanden, die ursächlich für die Art der Ausgestaltung der Montage und der Produkte verantwortlich sind. Eine Einteilung der Unternehmen unter Berücksichtigung der Ausprägung der Einflussgrößen ermöglicht die Begrün-

dung von anforderungsspezifischen Empfehlungen für die Gestaltung der Produkte und der Montage. Daraus ergeben sich verschiedene Einflussgrößenkombinationen, für die jeweils Gestaltungsempfehlungen zur Produkt- und Montagegestaltung abgeleitet werden. Im Ergebnis kristallisierten sich folgende vier Kategorien zur Klassifizierung der Einflussgrößen heraus:

- Produktkomplexität,
- Produktprogrammkomplexität,
- Dynamik und
- Montagekomplexität.

Einflussgrößenkategorien	Einflussgrößen
Produktkomplexität	• Anzahl der Bauteile je Produkt • Komplexität der Schnittstellen • Produktgröße • Produktgewicht • Teilegewicht • Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter • Sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts • Stabilität des Montageobjekts
Produktprogrammkomplexität	• Anzahl der Produktlinien (ohne Varianten) • Anzahl der Varianten (insgesamt) • Anzahl der Varianten (je Produktlinie) • Standardisierungsgrad des Produktprogramms • Losgröße eines Fertigungsauftrags
Dynamik	• Häufigkeit des Umrüstens • Grad der Schwankung von Losgrößen • Änderungshäufigkeit der Montage und/oder Betriebsmitteleinsatz • Änderungshäufigkeit des Produktangebots • Gleichmäßigkeit der Kapazitätsauslastung
Montagekomplexität	• Art der Montageorganisationsform • Wiederholhäufigkeit • Möglichkeit der Arbeitsteilung • Art des zu realisierenden Taktes

Abbildung 4-4: Kategorisierung der Einflussgrößen

Die Einflussgrößenkategorien beziehen sich somit auf die Charakteristika des Unternehmens und der Montage. Jede der Kategorien wird zudem durch mehrere einzelne Einflussgrößen repräsentiert, deren Relevanz mit Hilfe des Fragebogens überprüft wurde. Eine Übersicht der Einflussgrößenkategorien sowie der zugeordneten Einflussgrößen sind in Abbildung 4-4 dargestellt.

Einflussgrößenkategorie Produktkomplexität:

In der Einflussgrößenkategorie Produktkomplexität sind alle Einflussgrößen zusammengefasst, die die Komplexität des Montageobjekts beschreiben. Produkte mit einer hohen Komplexität sind beispielsweise aufwändig zu handhaben und aufgrund der technisch anspruchsvollen Bauteile nur durch spezialisierte Mitarbeiter zu montieren. Der Produktkomplexität werden demzufolge Einflussgrößen zugeordnet, die einen Einfluss auf die Komplexität der Handhabung und der Montage aufweisen.

Produktkomplexität	
Einflussgröße	**Definition**
Anzahl der Bauteile je Produkt	Anzahl der im Rahmen der Montagetätigkeit zu montierenden Bauteile je Montageobjekt.
Komplexität der Schnittstellen	Ausgedrückt durch den Aufwand, der für die Erstellung der Montageverbindung aufzuwenden ist (z. B. Schnappverbindung vs. Schweißverbindung).
Produktgröße	Finale Größe des zu montierenden Montageobjekts.
Produktgewicht	Finales Gewicht des zu montierenden Montageobjekts.
Teilegewicht	Gewicht der zu montierenden Einzelteile (größtes mögliches Einzelteilegewicht).
Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter	Benötigter Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter zur Erfüllung der Montageaufgabe (z. B. ausgedrückt durch die nötige Einarbeitungszeit)
Sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts	Zu montierendes Produkt wird eingesetzt, so dass die Gesundheit des Menschen beeinflusst wird (z. B. Automobil, Medizintechnik)
Stabilität des Montageobjekts	Ausgedrückt durch den Aufwand, der für die Stabilisierung während der Montage des Produkts aufzuwenden ist.

Abbildung 4-5: Produktkomplexität - Definition der Einflussgrößen

Der Produktkomplexität sind die Einflussgrößen Anzahl der Bauteile, Komplexität der Schnittstellen, Produktgröße, Produktgewicht, Teilegewicht, Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter, Sicherheitsrelevanz bei der Produktverwendung sowie Stabilität des Montageobjekts zugeordnet. Die im Rahmen der Arbeit zugrunde gelegten Definitionen der einzelnen Einflussgrößen zur Produktkomplexität sind in Abbildung 4-5 zusammengefasst.

Einflussgrößenkategorie Produktprogrammkomplexität:

Die Einflussgrößenkategorie Produktprogrammkomplexität beinhaltet die Größen, die den Aufwand in der Montage zur Realisierung des Produktprogramms beschreiben. Ein komplexes Produktprogramm drückt sich durch eine hohe Anzahl von Varianten oder Produktlinien aus. Je höher die Anzahl der unterschiedlichen Produkte ist, desto geringer ist beispielweise der Standardisierungsgrad in der Montage. Der Produktprogrammkomplexität sind die Einflussgrößen Anzahl der Produktlinien (ohne Varianten), Anzahl der Varianten (insgesamt), Anzahl der Varianten (je Produktlinie), Standardisierungsgrad des Produktprogramms und Losgröße des Fertigungsauftrags zugeordnet. Die im Rahmen der Arbeit zugrunde gelegte Definition der Einflussgrößen ist jeweilig in Abbildung 4-6 visualisiert.

Produktprogrammkomplexität	
Einflussgröße	**Definition**
Anzahl der Produktlinien (ohne Varianten)	Anzahl der im Rahmen der Montage zu realisierenden unterschiedlichen Produktlinien.
Anzahl der Varianten (insgesamt)	Anzahl der im Rahmen der Montage, produktlinienübergreifend zu realisierenden Varianten.
Anzahl der Varianten (je Produktlinie)	Anzahl der im Rahmen der Montage, je Produktlinie zu realisierenden Varianten.
Standardisierungsgrad des Produktprogramms	Grad der Standardisierung des in der Montage zu realisierenden Produktprogramms (z. B. kundenspezifische vs. Standardisierte Produkte).
Losgröße eines Fertigungsauftrags	Anzahl der gleichen Montageobjekte, die je Fertigungsauftrag montiert werden (gleiche Montageschritte, kein Umrüstaufwand).

Abbildung 4-6: Produktprogrammkomplexität - Definition der Einflussgrößen

Einflussgrößenkategorie Dynamik:

Unter der Einflussgrößenkategorie Dynamik werden die Einflussgrößen zusammengefasst, die den Grad und die Häufigkeit der Änderungen in der Montage beschreiben. In Abhängigkeit von der Dynamik in der Montage, wie beispielsweise dem Grad der Schwankung von Losgrößen sind der Mitarbeitereinsatz oder die Bereitstellungsstrategien zu gestalten. Je dynamischer das

Montageumfeld ist, desto höher sind die Anforderungen an die Flexibilität der Gestaltungsansätze. Die Einflussgrößen, die dem Bereich der Dynamik zugeordnet sind, sind die Häufigkeit des Umrüstens, der Grad der Schwankung von Losgrößen, die Änderungshäufigkeit der Montage und/oder Betriebsmittel, die Änderungshäufigkeit des Produktangebots sowie die Gleichmäßigkeit der Kapazitätsauslastung in der Montage. Die jeweiligen Definitionen der Einflussgrößen sind in Abbildung 4-7 gegeben.

Dynamik	
Einflussgröße	**Definition**
Häufigkeit des Umrüstens	Grad, wie häufig die Montageanlagen und -maschinen im Durchschnitt umgerüstet werden müssen, um die Montageaufgabe zu erfüllen.
Grad der Schwankung von Losgrößen	Grad, wie stark die Losgrößen der zu montierenden Produkte schwanken (z. B. tägliche Schwankungen vs. monatliche Schwankung).
Änderungshäufigkeit der Montage und/oder Betriebsmitteleinsatz	Grad, wie häufig die Montagetätigkeiten und der Betriebsmitteleinsatz zur Erfüllung der Montageaufgabe geändert werden müssen (z. B. monatliche Anpassungen vs. Anpassungen 1x im Jahr).
Änderungshäufigkeit des Produktangebots	Grad, wie häufig sich das Produktangebot des Unternehmens und damit auch die Montageaufgabe ändert.
Gleichmäßigkeit der Kapazitätsauslastung	Grad, wie gleichmäßig die vorhandenen Montagekapazitäten ausgelastet sind (z. B. Auslastung von 100% vs. Teilauslastungen).

Abbildung 4-7: Dynamik - Definition der Einflussgrößen

Einflussgrößenkategorie Montagekomplexität:

Unter der Einflussgrößenkategorie Montagekomplexität werden die Einflussgrößen zusammengefasst, die die Montagestrukturen beschreiben. In Montagen, in denen beispielsweise aufgrund des Montageobjekts nur eine geringe Arbeitsteilung möglich ist, sind komplexe und hohe Organisationsformen, wie eine getaktete Fließmontage ist nur kaum zu realisieren. Die der Einflussgrößenkategorie Montagekomplexität zugeordneten Einflussgrößen sind die Art der Montageorganisationsform, die Wiederholhäufigkeit, die Möglichkeit der Arbeitsteilung und die Art des zu realisierenden Taktes. Die jeweiligen Definitionen der Einflussgrößen zur Beschreibung der Montagekomplexität sind in Abbildung 4-8 gegeben.

Montagekomplexität	
Einflussgröße	**Definition**
Art der Montageorganisationsform	In der Montage realisierte Montageorganisationsform: Baustellen-, Gruppen-, Reihen- , getaktete Fließmontage.
Wiederholhäufigkeit	Grad, wie häufig sich identische Montageaufgaben wiederholen.
Möglichkeit der Arbeitsteilung	Grad, wie stark eine Arbeitsteilung bei der Realisierung der Montageaufgabe möglich ist.
Art des zu realisierenden Taktes	Art des in der Montage realisierbaren Takts (fest vs. variabel).

Abbildung 4-8: Montagekomplexität - Definition der Einflussgrößen

4.2.2 Parametrisierung der Einflussgrößen

Im Rahmen der statistischen Fragebogenanalyse wurden die Einflussgrößen sowohl den Bereichen des Montagekonfigurationsprozesses zugeordnet als auch Parameterwerte für die Quantifizierung der Größen ermittelt. Die Parametrisierung der Einflussgrößen dient dazu, die Unternehmen einzuordnen. Mit Hilfe einer statistischen Auswertung in SPSS sowie der Erkenntnisse aus den Expertengesprächen und Literaturanalysen wurden die Einflussgrößen den einzelnen Gestaltungsbereichen des Montagekonfigurationsprozesses zugeordnet. Die 2-stufige Vorgehensweise im Rahmen der fragebogenbasierten Analyse der Einflussgrößen sowie die jeweiligen Ergebnisse sind in Abbildung 4-9 dargestellt.

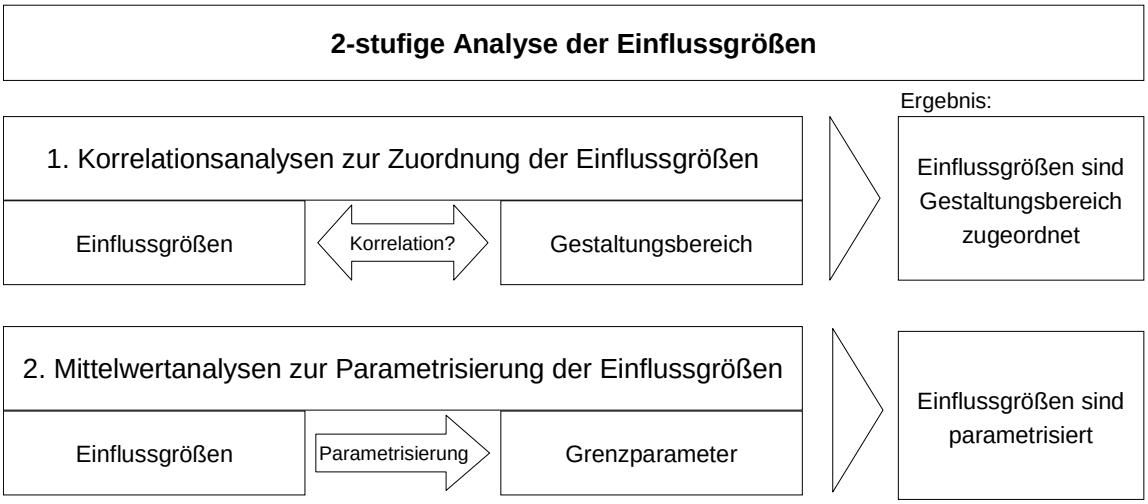


Abbildung 4-9: Vorgehensweise bei der Einflussgrößenanalyse

Im Rahmen der statistischen Analysen wurden im ersten Schritt die im Rahmen der Fragebogenaktion abgefragten Einflussgrößen den Gestaltungsbereichen zugeordnet. Dazu erfolgten Korrelationsanalysen, bei denen die Korrelation zwischen den Einflussgrößen und Gestaltungsansätzen der jeweiligen Gestaltungsbereiche durchgeführt wurden. Der Korrelationskoeffizient gibt dabei das Maß für den linearen Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen an (vgl. Martens 2003, S. 183). Das Signifikanzniveau der Korrelationsanalysen liegt bei 0,07. Ziel war die Identifikation von statistisch nachweisbaren Zusammenhängen zwischen der Einflussgröße und repräsentativen Gestaltungsansätzen. In Abbildung 4-10 ist ein Auszug aus der Korrelationstabelle zur Produktordnungssystemgestaltung dargestellt.

		Einflussgrößen			
Gestaltungsansätze		Häufigkeit des Umrüstens der Montage	Größe und Gewicht der Produkte	Grad der Schwankung von Losgrößen	Anzahl der Varianten insgesamt
Verlagerung des Varianten-bestimmungspunkts ans Ende der WSK	Korrelationskoeffizient	-0,238	-0,093	0,450	0,222
	Sig. (2-tailed)	0,020	0,379	0,018	0,253
	N	72	72	72	72
Einsatz von Standard- und Normteilen	Korrelationskoeffizient	0,192	0,032	-0,024	-0,270
	Sig. (2-tailed)	0,075	0,792	0,812	0,021
	N	72	72	72	72
Einsatz von Modulen und Systemen	Korrelationskoeffizient	0,398	-0,024	0,239	-0,233
	Sig. (2-tailed)	0,053	0,732	0,030	0,019
	N	72	72	72	72

Korrelation ist auf dem 0,07-Level signifikant

Abbildung 4-10: Korrelationsanalysen zur Zuordnung der Einflussgrößen (Auszug für den Bereich Produktordnungssystem)

Die markierten Einflussgrößen weisen eine signifikante Korrelation zu den jeweiligen Gestaltungsansätzen auf. Die beiden Größen stehen demzufolge in einem statistisch nachweisbaren Zusammenhang zueinander. Im aufgezeigten Beispiel wirkt die Einflussgröße „Produktgröße und -gewicht“ nicht auf die ausgewählten Gestaltungsansätze der Produktordnungssystemgestaltung. Im Rahmen der Modellbildung wird die Einflussgröße für den genannten Bereich demzufolge nicht hinzugezogen. Analog der beschriebenen Vorgehensweise wurden die Einflussgrößen den Gestaltungsbereichen zugeordnet. Die Ergebnisse der Fragebogenanalyse wurden durch die Ergebnisse der Expertenbefragung sowie der bereits vorliegenden theoretischen Erkenntnisse ergänzt. Neben der Zuordnung der Einflussgrößen erfolgte die Parametrisierung der Einflussgrößen unter Verwendung der Fragebogenergebnisse. Dazu wurden

auf Basis von Mittelwertanalysen für die jeweiligen Einflussgrößen die Grenzwerte ermittelt, ab denen sich die Gestaltungsempfehlungen jeweils ändern. Zur Verdeutlichung soll die Vorgehensweise mit Hilfe eines Beispiels erläutert werden. Eine der Einflussgrößen ist die Anzahl der Varianten je Produktlinie. Die Anzahl kann sowohl einen hohen als auch einen geringen Wert aufweisen. Als Schwelle zwischen einer hohen und geringen Variantenanzahl im Bereich der KMU wurde als Ergebnis der Fragebogenaktion auf Basis einer statistischen Analyse der Wert „7 Varianten“ ermittelt. Unternehmen mit mehr als 7 Varianten je Produktlinie sind somit der Kategorie „hohe Variantenanzahl“ zuzuordnen. Analog der beschriebenen Vorgehensweise wurden Grenzwerte für die Einflussgrößen ermittelt. Im Folgenden werden die Einflussgrößen und ihre Grenzwerte je Gestaltungsbereich aufgezeigt.

Auf den Gestaltungsbereich Montageobjektgestaltung der Phase 2 des Montagekonfigurationsprozesses wirken fünf der im vorherigen Kapitel beschriebenen Einflussgrößen. Die Einflussgrößen sowie ihre Parametrisierung sind in Abbildung Abb. 4-11 dargestellt.

Montageobjektgestaltung	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Anzahl der Bauteile je Produkt	Hohe Komplexität ab ca. 45 Einzelteilen
Komplexität der Bauteilschnittstellen	Hohe vs. geringe Montagedauer bzw. Hoher vs. geringer Montageaufwand
Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter	Lange vs. geringe Einarbeitungsdauer
Anzahl der Varianten (insgesamt)	Hohe Komplexität ab ca. 30 Varianten
Standardisierungsgrad des Produktprogramms	Kundenspezifische vs. standardisierte Produkte

Abbildung 4-11: Montageobjektgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

Diese sind die Anzahl der Bauteile je Produkt, die Komplexität der Bausteilschnittstellen, der Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter, die Anzahl der Varianten (insgesamt) und der Standardisierungsgrad des Produktprogramms. Eine wertmäßige Parametrisierung konnte für die Einflussgrößen „Anzahl der Bauteile je Produkt“ und „Anzahl der Varianten (insgesamt)“. Für die weiteren drei Einflussgrößen konnten keine Absolutwerte ermittelt werden, weshalb für diese Werte auf Basis von Expertengesprächen Hinweise zur korrekten Einordnung der Ausprägung erarbeitet wurden.

Dem Gestaltungsbereich der Produktordnungssystemgestaltung konnten als Ergebnis der durchgeführten Analysen acht Einflussgrößen als relevant zugeordnet werden.

Produktordnungssystemgestaltung	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Anzahl der Bauteile je Produkt	Hohe Komplexität ab ca. 45 Einzelteilen
Losgröße eines Fertigungsauftrags	Hohe Losgröße ab ca. 7 Stück
Häufigkeit des Umrüstens	Hohe Dynamik ab ca. 3 Tage
Standardisierungsgrad des Produktprogramms	Kundenspezifische vs. standardisierte Produkte
Anzahl der Varianten (insgesamt)	Hohe Komplexität ab ca. 30 Varianten
Anzahl der Produktlinien	Hohe Komplexität ab ca. 8 Produktlinien
Anzahl der Varianten (je Produktlinie)	Hohe Komplexität ab ca. 7 Varianten
Grad der Schwankung von Losgrößen	Hohe Dynamik ab ca. 20 % Schwankung

Abbildung 4-12: Produktordnungssystemgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

Die Einflussgrößen sind die Anzahl der Bauteile je Produkt, die Losgröße eines Fertigungsauftrags, die Häufigkeit des Umrüstens, der Standardisierungsgrad des Produktprogramms, die Anzahl der Varianten (insgesamt), die Anzahl der Produktlinien, die Anzahl der Varianten (je Produktlinie) und der Grad der Schwankung von Losgrößen. Es konnten konkrete Parameterwerte für alle Größen bis auf den Standardisierungsgrad des Produktprogramms ausgewiesen werden.

Montageorganisationsformauswahl	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Gewicht des Montageobjekts	Einfache Transportierbarkeit bis ca. 100 kg
Geometrie des Montageobjekts	Einfache Transportierbarkeit bis ca. 100 x 100 cm²
Stabilität des Montageobjekts	Grad der Stabilität beruht auf individueller Einschätzung der Unternehmen
Wiederholhäufigkeit	Hohe Wiederholhäufigkeit ab ca. 1000 Stück/Jahr
Gleichmäßigkeit der Kapazitätsauslastung	Gleichmäßig ab ca. 3 Stück parallel zu montierender Objekte
Möglichkeit der Arbeitsteilung	Gegeben vs. nicht gegeben
Art des zu realisierenden Taktes	Feste vs. variable Taktzeiten

Abbildung 4-13: Montageorganisationsformauswahl - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

Im Gestaltungsbereich der Montageorganisationsauswahl sind sieben der ursprünglich identifizierten Einflussgrößen relevant. Die Ergebnisse zu den Einflussgrößen dieses Gestaltungsbereichs basieren vor allem auf Literaturanalysen (vgl. Schimke/Hoeschen 1977 und Eversheim 1989). Die Parameterwerte sind auf die Ergebnisse der Arbeiten zur Montageorganisationsgestaltung von Schimke/Hoeschen und Lotter zurückzuführen (vgl. Schimke/Hoeschen 1977

und Lotter 2006a). Für vier der Einflussgrößen konnten dadurch konkrete Werte zur Abgrenzung ermittelt werden. Die Grenzwerte wurden zudem mit den Experten der Unternehmen diskutiert und auf ihre Praxistauglichkeit überprüft. Das Ergebnis der Analysen zu den Parametern der Montageorganisationsformauswahl ist in Abbildung 4-13 zusammengefasst.

Im Bereich der Bereitstellungsgestaltung weisen sieben der vorab identifizierten Einflussgrößen eine wesentliche Bedeutung auf. Die Einflussgrößen sind die Anzahl der Bauteile je Produkt, das Gewicht der Bauteile, die Größe des Montageobjekts, die Losgröße eines Fertigungsauftrags, die Anzahl der Varianten (je Produktlinie), die Häufigkeit des Umrüstens sowie der Grad der Schwankung von Losgrößen. Für alle der genannten Einflussgrößen konnten spezifische Grenzwerte ermittelt und ausgewiesen werden (vgl. Abb. 4-14). Die Werte zum Grad der Schwankung von Losgrößen, zum Gewicht der Bauteile und zur Größe des Objekts basieren dabei auf theoretischen Analysen.

Bereitstellungsgestaltung	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Anzahl der Bauteile je Produkt	Hohe Komplexität ab ca. 45 Einzelteilen
Gewicht der Bauteile	Hohes Gewicht ab ca. 25 kg
Größe des Montageobjekts	Höhe Größe ab ca. 100 x 100 cm²
Losgröße eines Fertigungsauftrags	Hohe Losgröße ab ca. 7 Stück
Anzahl der Varianten (je Produktlinie)	Hohe Komplexität ab ca. 7 Varianten
Häufigkeit des Umrüstens	Hohe Häufigkeit ab ca. 3 Tagen
Grad der Schwankung von Losgrößen	Hohe Dynamik ab ca. 20 % Schwankung

Abbildung 4-14: Bereitstellungsgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

Layout- und Materialflussgestaltung	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Anzahl der Varianten (je Produktlinie)	Hohe Komplexität ab ca. 7 Varianten
Grad der Schwankung von Losgrößen	Grad beruht auf individueller Einschätzung der Unternehmen
Häufigkeit des Umrüstens	Hohe Dynamik ab ca. 3 Tage
Standardisierungsgrad des Produktprogramms	Kundenspezifische vs. standardisierte Produkte
Änderungshäufigkeit Montage und/oder Betriebsmitteleinsatz	Hohe Dynamik ab ca. 6 Monaten
Änderungshäufigkeit des Produktangebots	Hohe Dynamik ab ca. 15 Monaten
Montageorganisationsform	Baustellen-, Gruppen, Reihen- oder getaktete Fließmontage

Abbildung 4-15: Layout- und Materialflussgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

Dem Gestaltungsbereich Layout- und Materialflussgestaltung konnten auf Basis der Analysen sieben der Einflussgrößen als von hoher Relevanz zugeordnet werden. Die Einflussgrößen sind im Einzelnen die Anzahl der Varianten (je Produktlinie), der Grad der Schwankung von Losgrößen, die Häufigkeit des Umrüstens, der Standardisierungsgrad des Produktprogramms, die Änderungshäufigkeit in der Montage/des Betriebsmitteleinsatzes, die Änderungshäufigkeit des Produktangebots und die Montageorganisationsform. Dabei konnten für den Grad der Schwankung von Losgrößen sowie für den Standardisierungsgrad des Produktprogramms weder in der Literatur noch aus der Empirie konkrete Parameter ermittelt werden. Die von den Unternehmen zu machende Angaben zu diesen Einflussgrößen basieren somit auf der individuellen Einschätzung der Unternehmen unter Berücksichtigung der Hinweise zur Einordnung der Größen. Eine Parametrisierung unter Verwendung von Werten erfolgt für diese Größen nicht.

Mitarbeitereinsatzgestaltung	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter	Lange vs. geringe Einarbeitungsdauer
Höhe der Montageorganisationsform	Niedrig: Gruppen-/Baustellenmontage Hoch: Reihen-/Fließmontage
Anzahl der Varianten (je Produktlinie)	Hohe Komplexität ab ca. 7 Varianten
Standardisierungsgrad des Produktprogramms	Kundenspezifische vs. standardisierte Produkte
Grad der Schwankung von Losgrößen	Hohe Dynamik ab ca. 20 % Schwankung

Abbildung 4-16: Mitarbeitereinsatzgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

Im Rahmen der empirischen Analysen konnten dem Gestaltungsbereich Mitarbeiteinsatzgestaltung fünf der Einflussgrößen als relevant zugeordnet werden. In diesem Bereich wurden im Rahmen der Fragebogenanalyse für drei Einflussgrößen konkrete Grenzwerte ermittelt. Für den Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter sowie den Standardisierungsgrad des Produktprogramms konnten keine Parameter identifiziert werden. Die Einordnung dieser Einflussgrößen basiert auf der individuellen Einschätzung der Unternehmen. Zudem erfolgte die Einordnung der Montageorganisationsformen in hohe und niedrige Organisationsformen. Gruppen- und Baustellenmontage werden dabei den niedrigen und Reihen- und Fließmontagen den hohen Organisationsformen zugeordnet. Grundlage für die Einteilung war der Grad der Arbeitsteilung und die Produkt- sowie Mengenflexibilität der jeweiligen Montageorganisationsformen. Die einzelnen Parameterwerte der Einflussgrößen sind in Abbildung 4-16 aufgezeigt.

Für den Gestaltungsbereich der qualitätsorientierten Gestaltung wurden sieben Einflussgrößen ermittelt, die für diesen Bereich eine hohe Bedeutung aufweisen. Diese sind die Anzahl der Bauteile je Produkt, die Komplexität der

Bauteilschnittstellen, die Anzahl der Varianten (je Produktlinie), der Standardisierungsgrad des Produktprogramms, die Höhe der Montageorganisationsform, die Häufigkeit des Umrüstens und die Sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts. Drei der Einflussgrößen konnten keine spezifischen Werte zugeordnet werden (vgl. Abb. 4-17). Die mithilfe der Fragebogenaktion zugeordneten und parametrisierten Einflussgrößen wurden im weiteren Verlauf der Modellausgestaltung nach inhaltlichem Schwerpunkt zu Einflussgrößengruppen zusammengefasst. In Abhängigkeit von den jeweiligen Ausprägungen werden darauf aufbauend Empfehlungen zur Gestaltung gegeben.

Qualitätsorientierte Gestaltung	
Einflussgröße	**Parametrisierung**
Anzahl der Bauteile je Produkt	Hohe Komplexität ab ca. 45 Einzelteilen
Komplexität der Bauteilschnittstellen	Hohe vs. geringe Montagedauer bzw. Hoher vs. geringer Montageaufwand
Anzahl der Varianten (je Produktlinie)	Hohe Komplexität ab ca. 7 Varianten
Standardisierungsgrad des Produktprogramms	Kundenspezifische vs. standardisierte Produkte
Höhe der Montageorganisationsform	Niedrig: Gruppen-/Baustellenmontage Hoch: Reihen-/Fließmontage
Häufigkeit des Umrüstens	Hohe Dynamik ab ca. 3 Tage
Sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts	Hohes vs. geringes Risiko von hohen Folgeschäden bei Produktmangel

Abbildung 4-17: Qualitätsorientierte Gestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung

4.3 Ausgestaltung des Montagekonfigurationsprozesses

Die konzeptionelle Ausgestaltung des Montagekonfigurationsprozesses erfolgte unter Verwendung von Flussdiagrammen. Je Gestaltungsbereich des Montagekonfigurationsprozesses wurden Flussdiagramme ausgearbeitet.

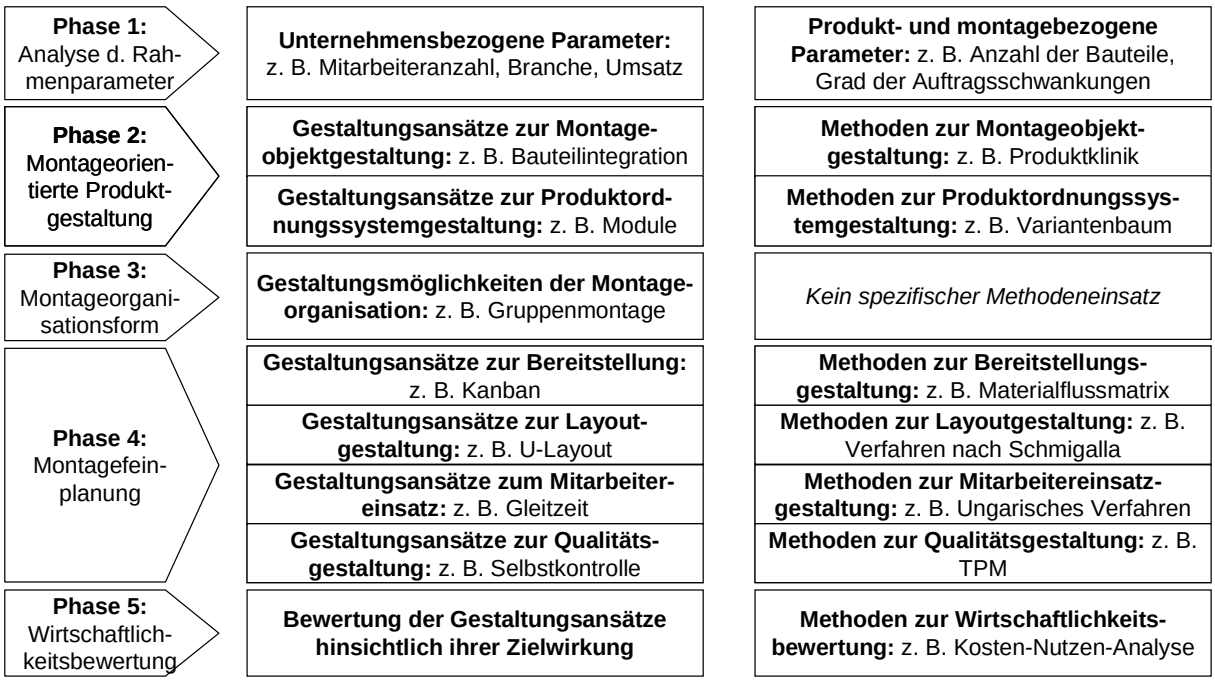


Abbildung 4-18: Inhalte je Phase und Gestaltungsbereich des Montagekonfigurationsprozesses

In die Flussdiagramme sind sowohl die Ergebnisse aus der Fragebogenaktion als auch der Expertengespräche eingeflossen. Zur beispielhaften Darstellung der Inhalte je Gestaltungsbereich, die jeweils in den Flussdiagrammen verarbeitet wurden, dient Abbildung 4-18.

4.3.1 Flussdiagramme als konzeptionelle Grundlage

Der prinzipielle Aufbau der Flussdiagramme ist in Abbildung 4-19 für den Gestaltungsbereich der Produktordnungssystemgestaltung aufgezeigt. Im Flussdiagramm werden die Einflussgrößen und Gestaltungsansätze sowie deren Zusammenhänge für die jeweiligen Gestaltungsbereiche dargestellt. Wesentliche Bestandteile der Flussdiagramme sind die Entscheidungsfelder mit der Frage nach der Einflussgrößenausprägung sowie die Ergebnisfelder, in denen die Ansätze angezeigt werden. Dazu wurden die dem Gestaltungsbereich zugeordneten Einflussgrößen in Abhängigkeit von ihrer inhaltlichen Zusammengehörigkeit gebündelt, so dass je Gestaltungsbereich maximal vier Einflussgrößengruppen als Entscheidungspunkte erarbeitet wurden. Die Ausprägung der Einflussgröße wird sequentiell abgefragt und in Abhängigkeit ihrer Ausprägung werden Empfehlungen zum Einsatz von Ansätzen gegeben.

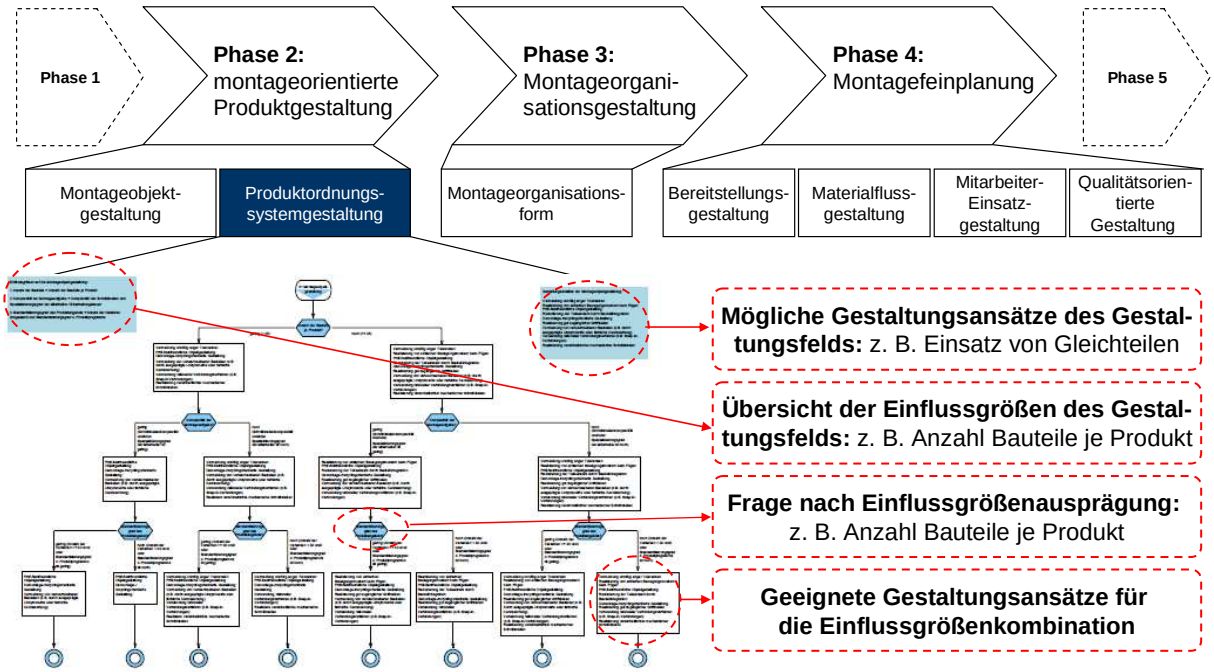


Abbildung 4-19: Aufbau der Flussdiagramme je Gestaltungsbereich

In Abbildung 4-20 ist der Auszug eines Flussdiagramms vergrößert dargestellt. In Abhängigkeit des Entscheidungspunkts „Anzahl der Bauteile je Produkt“ werden von der Grundgesamtheit der analysierten Gestaltungsfelder in einem ersten Schritt diejenigen ausgewählt, die entweder unabhängig von der Einflussgröße sind oder explizit für die Einflussgrößenausprägung geeignet sind. Nach dem Durchlaufen des gesamten Flussdiagramms werden demzufolge diejenigen Gestaltungsansätze ausgegeben und empfohlen, die für die jeweilige Einflussgrößenkombination des Unternehmens erfolgversprechend sind.

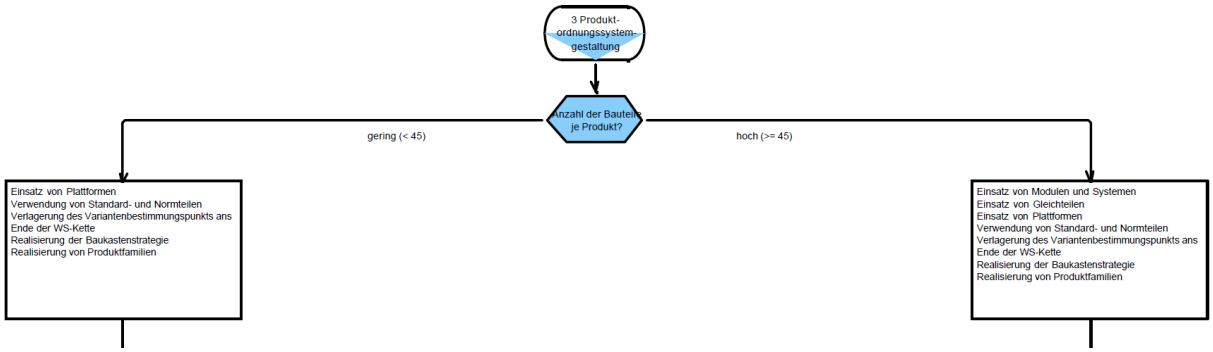


Abbildung 4-20: Entscheidungspunkt in Flussdiagramm Produktordnungssystemgestaltung (Auszug)

Neben den Flussdiagrammen mit den Empfehlungen für Gestaltungsansätze sind jedem Gestaltungsbereich Methoden zur Realisierung der Gestaltungsansätze zugeordnet (vgl. Abb. 4-21). In Abhängigkeit von der Problemstellung sind unterschiedliche Methoden und Instrumente sinnvoll. So eignen sich für die Neugestaltung des Produktordnungssystems Methoden, die die Variantenvielfalt und -struktur des Produktprogramms aufzeigen. Zur ergonomischen Produktgestaltung sind demgegenüber Kreativitätstechniken, die das Wissen der Montagemitarbeiter berücksichtigen, von Relevanz.

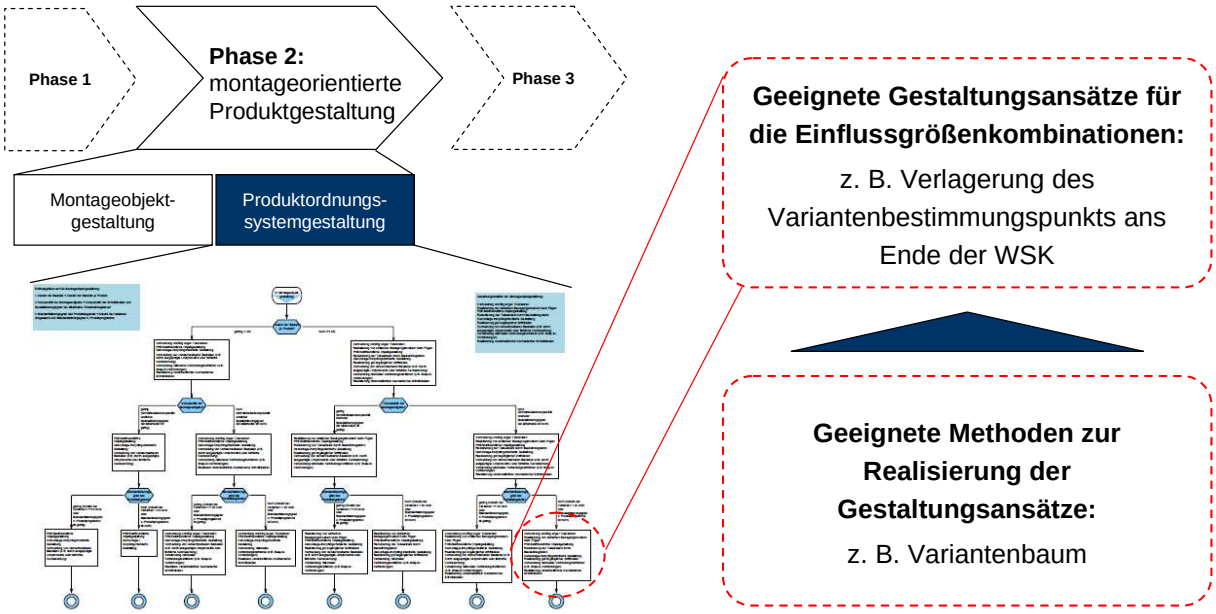


Abbildung 4-21: Zusammenhang zwischen Gestaltungsansätzen und Methodenempfehlung

Zur Steigerung der Methodenkompetenz wurden alle im Rahmen der Forschungstätigkeiten identifizierten Methoden kurz beschrieben und mithilfe ihrer Zielwirkungen sowie der Vor- und Nachteile charakterisiert. Die Beschreibungen finden sich als Methodensteckbriefe im IT-Tool wieder. Die Entscheidung für die Erarbeitung von Steckbriefen mit Kurzinformationen zur Methode beruht darauf, dass ein Teil der Methoden im Rahmen der Montagekonfiguration den Unternehmen nicht bekannt war. Auch bei bereits bekannten Methoden wurden von den Unternehmen die Vor- und Nachteile der Anwendung teilweise nur am Rande bei der Methodenauswahl berücksichtigt. Mithilfe der Methodensteckbriefe sollen diese Defizite im Methodenwissen verringert werden.

4.3.2 Ergebnisse je Phase des Montagekonfigurationsprozesses

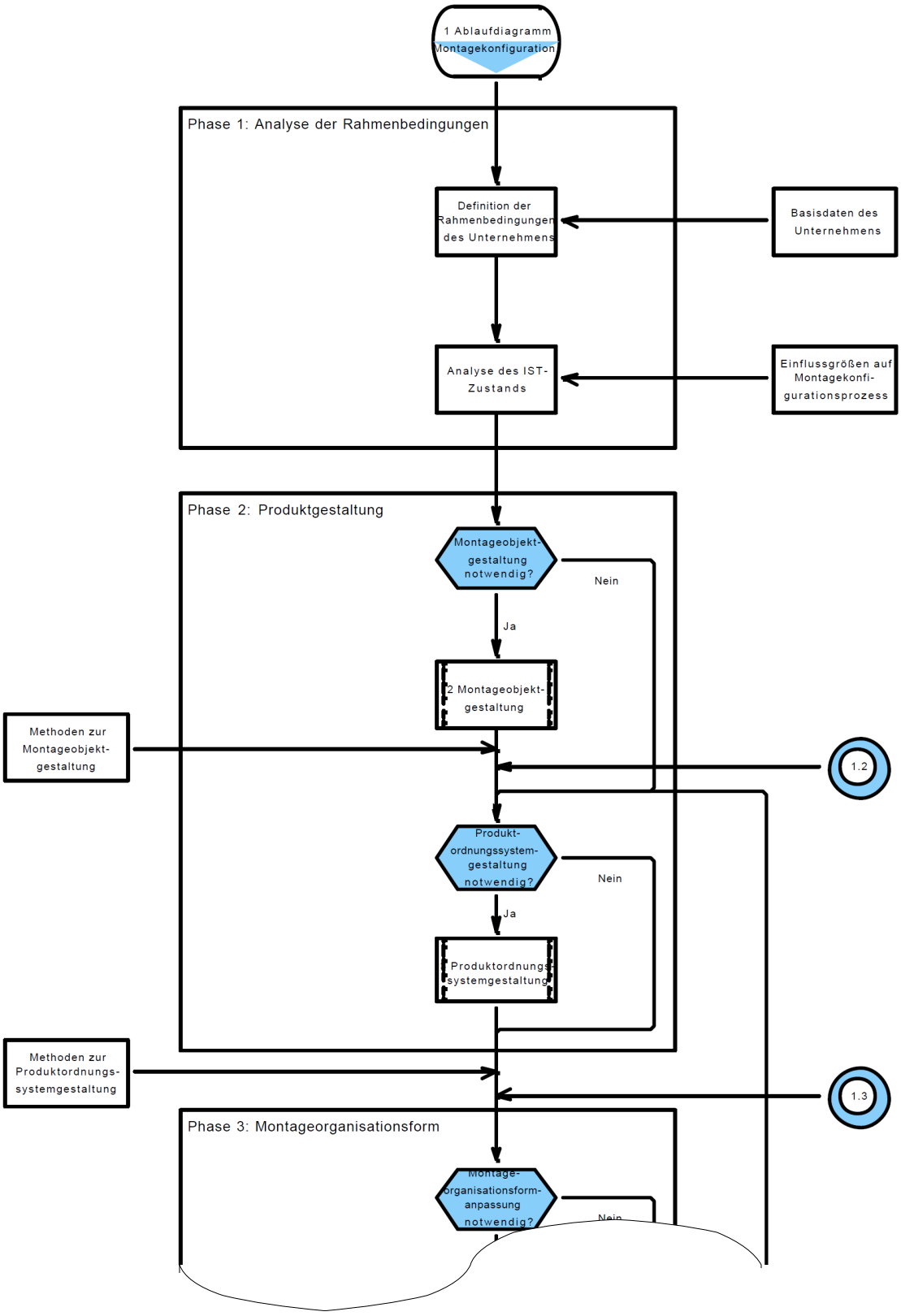


Abbildung 4-22: Ablaufdiagramm des Montagekonfigurationsprozesses (Auszug)

Für jeden Gestaltungsbereich des Montagekonfigurationsprozesses wurden analog der beschriebenen Vorgehensweise Flussdiagramme erarbeitet. Ausgangspunkt bildet dabei das in Abbildung 4-22 in Auszügen dargestellte Ablaufdiagramm.

Das Ablaufdiagramm ist analog der fünf Phasen des Montagekonfigurationsprozesses aufgebaut. Den Beginn des Flussdiagramms bildet somit die Analyse der Rahmenbedingungen und des Ist-Zustands des Unternehmens. Darauf aufbauend werden die weiteren Phasen des Montagekonfigurationsprozesses durchlaufen. Dabei sind nicht alle Gestaltungsbereiche zwingend zu durchlaufen. Dem Anwender ist durch Entscheidungen freigestellt, ob er Analysen zu dem genannten Gestaltungsbereich durchführen möchte.

Nachfolgend werden die Methoden und Gestaltungsansätze je Gestaltungsbereich übersichtlich dargestellt. Die dazugehörigen Flussdiagramme mit den jeweiligen Empfehlungen je Gestaltungsbereich sind im Anhang detailliert. Im Bereich der Montageobjektgestaltung wurden 18 Methoden identifiziert, die dazu geeignet sind Lösungen im genannten Bereich zu ermitteln. Zudem werden 9 Gestaltungsansätze in Abhängigkeit von den Einflussgrößen empfohlen und mithilfe des Bewertungskonzepts beurteilt (vgl. Abb. 4-23). Die identifizierten Methoden eignen sich insbesondere zur Produktgestaltung in Zusammenarbeit von Entwicklung und Montage. Beispiele der Methoden sind Simultaneous Engineering oder der Einsatz eines montageorientierten Entwicklungskatalogs in dem Empfehlungen zur Produktgestaltung aus Montagesicht gegeben werden. Zudem werden Methoden empfohlen, die dabei unterstützen, das implizit vorhandene Wissen der Mitarbeiter für Produktoptimierungen zu ermitteln. Dazu eignen sich Methoden wie beispielweise die Methode 6-3-5 oder das betriebliche Vorschlagswesen. Die Gestaltungsansätze zur Montageobjektgestaltung forcieren eine einfache, mitarbeiterfreundliche Montage. Dazu sind beispielsweise die Realisierung einfacher Bewegungsmuster beim Fügen oder die Realisierung gut zugänglicher Griffstellen geeignet. Zudem wurden Gestaltungsansätze analysiert, die dazu beitragen, die Produktqualität zu steigern, wie beispielsweise die Vermeidung von verwechselbaren Bauteilen oder die Realisierung einer prüf- und testfreundlichen Produktgestalt.

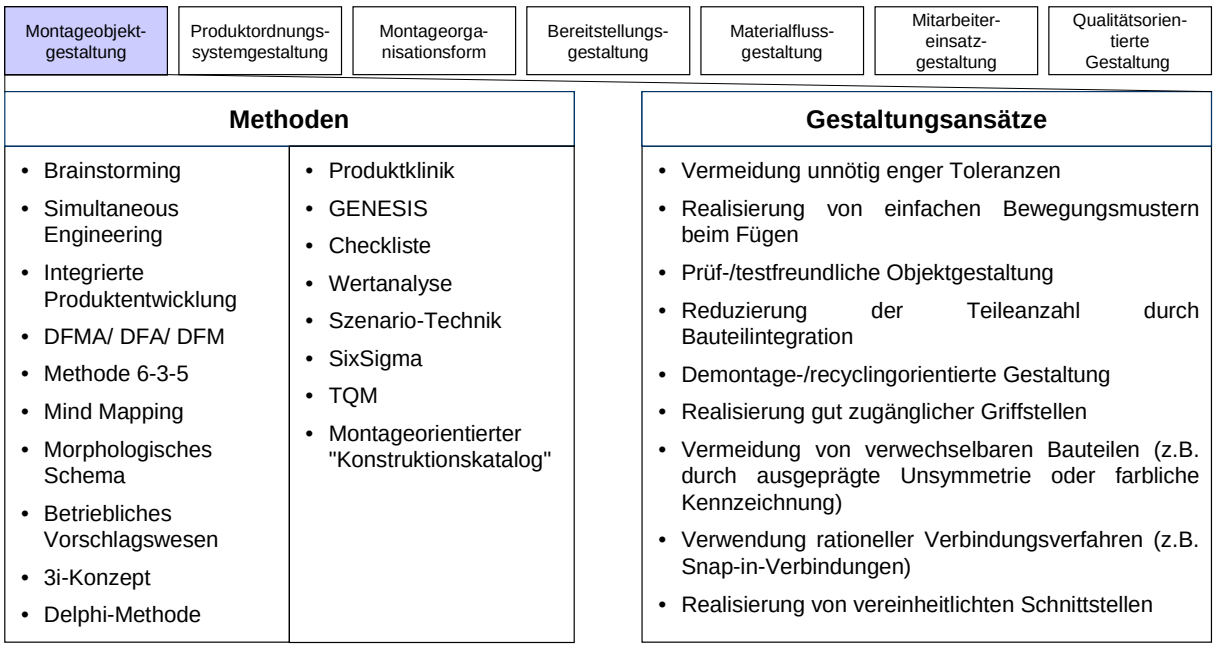


Abbildung 4-23: Methoden und Gestaltungsansätze zur Montageobjekt-gestaltung

Zur Produktordnungssystemgestaltung wurden 12 Methoden und 7 Gestaltungsansätze ausgewählt und analysiert. Die betrachteten Methoden eignen sich sowohl zur Identifikation kreativer Lösungen als auch zur montagefreundlichen Neustrukturierung des Produktprogramms. Insbesondere die Methoden Fügematrix, Variantenbaum, Analyse funktionaler Zusammensetzung und die Checkliste Produktstrukturierung/Produktstrukturanalyse sind auf die Ausgestaltung eines montage- und produktionsorientierten Produktordnungssystems ausgerichtet und geeignet dieses zu realisieren. Die Gestaltungsansätze zur Produktordnungssystemgestaltung basieren auf dem Prinzip der Standardisierung nach innen und Individualisierung nach außen und verfolgen das Ziel, die Flexibilität in der Montage zu steigern. Durch den verstärkten Einsatz von Gleich-, Standard- und Normteilen sowie den Einsatz von Modulen uns Systemen werden Montagetätigkeiten standardisiert. Die Bildung von Produktfamilien trägt zudem dazu bei, die Montageaufgaben zu vereinheitlichen. Durch die Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts an das Ende der Wertschöpfungskette werden die Montageabläufe bis zum Variantenbestimmungspunkt standardisiert ohne dass die vom Kunden geforderte Variantenvielfalt zwingend reduziert werden muss.

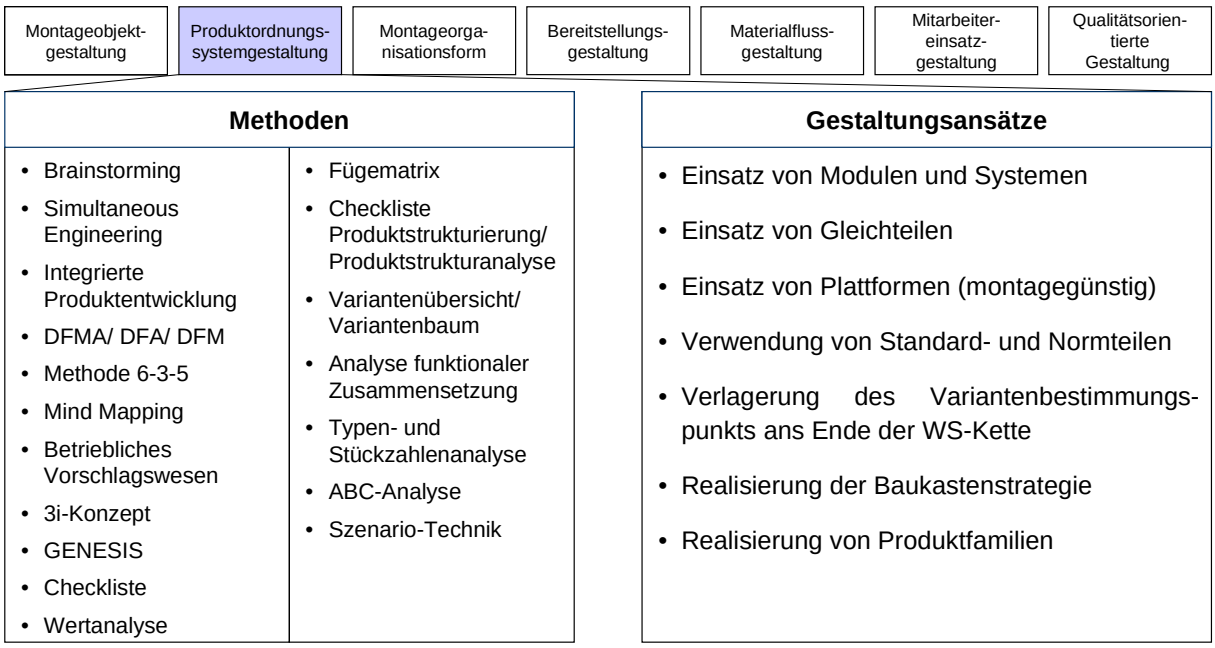


Abbildung 4-24: Methoden und Gestaltungsansätze zur Produktordnungssystemgestaltung

Bei der Auswahl der Montageorganisationsform kann zwischen den Gestaltungsmöglichkeiten Baustellen-, Gruppen-, Reihen- und getaktete Fließmontage gewählt werden. Die Entscheidung für eine Montageorganisationsform basiert auf den Einflussgrößen und Rahmenbedingungen, die in der Montage vorliegen. Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Montageorganisationsform ist im Anhang unter Verwendung eines Flussdiagramms dargestellt.

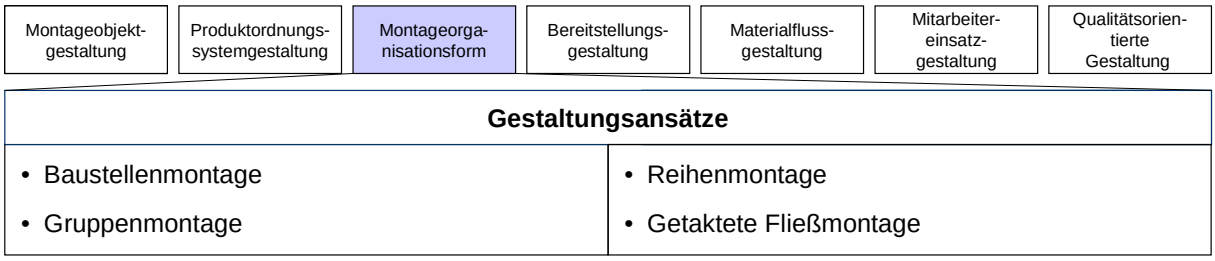


Abbildung 4-25: Gestaltungsansätze der Montageorganisationsform

Im Bereich der Bereitstellungsgestaltung wurden 29 Methoden analysiert, wobei die meisten der Methoden auch für die Gestaltung des Materialflusses geeignet sind. Zudem wurden 9 Ansätze zur Bereitstellungsgestaltung analysiert. Die Methoden zur Materialbereitstellung sind dazu geeignet, die Materialflüsse im Unternehmen sowie vom Lieferanten zum Unternehmen zu optimieren.

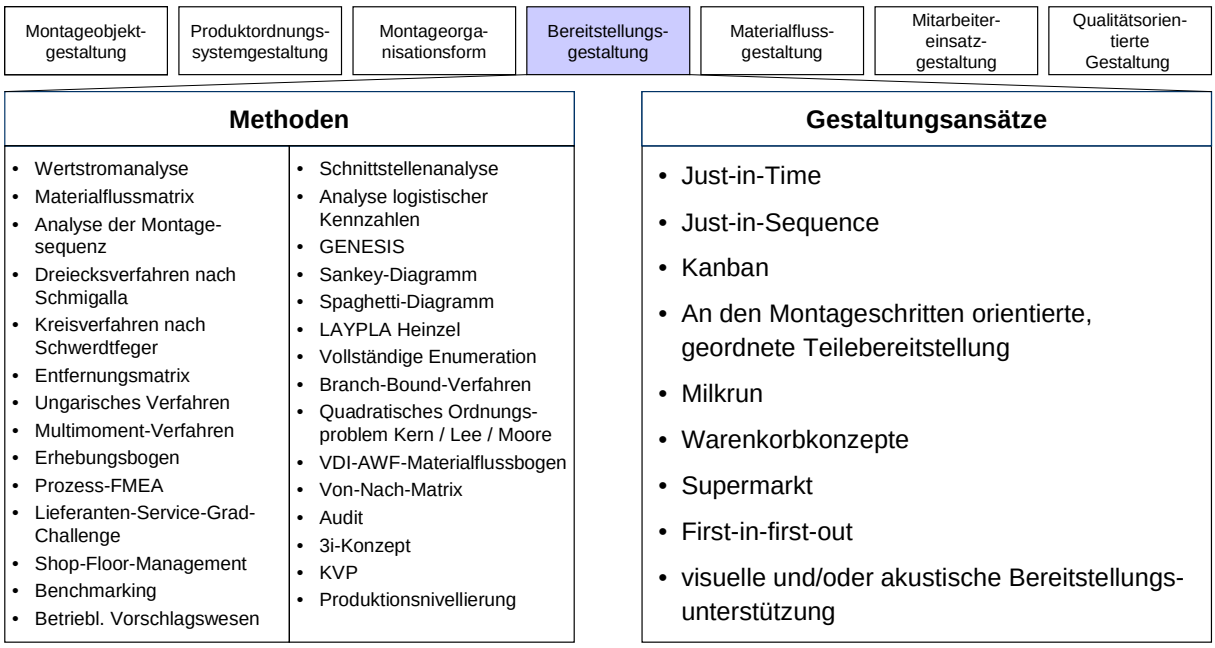


Abbildung 4-26: Methoden und Gestaltungsansätze Bereitstellungsgestaltung

Beispiele dafür sind die Materialflussanalyse oder die Wertstromanalyse. Da im Rahmen der Materialbereitstellung auch die Bereitstellung zwischen Montagestationen analysiert wird, wurden auch Methoden, wie beispielsweise das Dreiecksverfahren nach Schmigalla aufgeführt, da damit eventuell benötigte Bereitstellflächen und deren Anordnung berücksichtigt werden können. Eine Methode zur Verbesserung der Beziehung zwischen dem Lieferanten und der Montage ist beispielsweise die Lieferanten-Service-Grad-Challenge. Die Gestaltungsansätze zur Bereitstellungsgestaltung sind sowohl geeignet, die Materialbereitstellung zu steuern (Kanban, Just-in-Time) als auch die physische Materialbereitstellung zu organisieren (Warenkorb, Supermarkt).

Für den Bereich der Materialfluss- und Layoutgestaltung wurden 34 Methoden untersucht und 9 Gestaltungsansätze bewertet. Zur Unterstützung bei der Materialflussgestaltung wurden insbesondere Methoden ausgewählt, die dazu beitragen, die Anordnung der Montagestationen zur optimieren. Dazu sind Methoden, die die Transportaufwände reduzieren, wie beispielsweise das Spaghetti-Diagramm geeignet. Zudem wurden Methoden mit einbezogen, die die Rüstzeiten reduzieren, wie beispielsweise SMED. Als geeignete Instrumente konnten im Bereich der Materialflussgestaltung beispielsweise der Erhe-

bungsbogen oder der VDI-AWF-Materialflussbogen identifiziert werden. Ein Teil der analysierten Gestaltungsansätze ist aus dem Bereich der Layoutgestaltung. Es werden beispielsweise die Konzepte des U-Layouts, der Inselmontage und der Fertigungssegmentierung untersucht, da diese Ansätze die Steigerung der Mengen- und Produktflexibilität beinhalten. Zudem werden Ansätze zur Materialflussgestaltung wie beispielsweise das Prinzip das One-Piece-Flow betrachtet. Dieses Prinzip ist beispielsweise dazu geeignet, die Durchlaufzeiten eines Montageobjekts zu reduzieren.

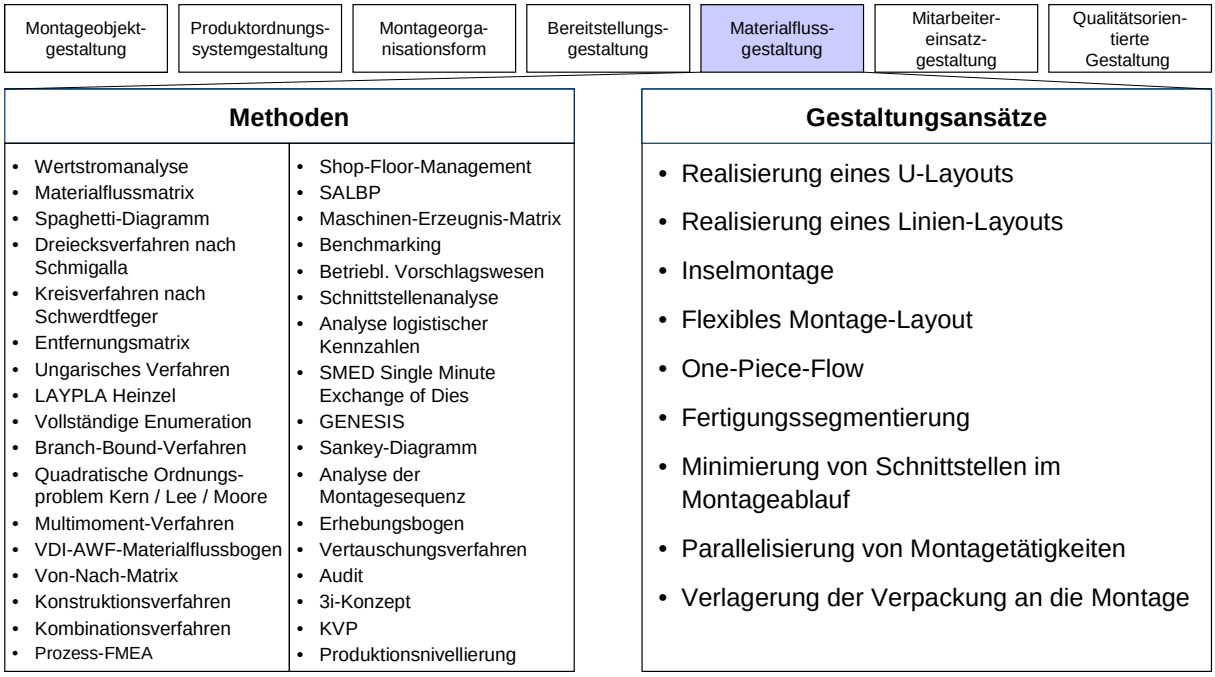


Abbildung 4-27: Methoden und Gestaltungsansätze zur Materialfluss- und Layoutgestaltung

In den Bereich der Mitarbeitereinsatzgestaltung wurden 19 Methoden einbezogen und 9 Gestaltungsansätze beurteilt. Bei der Entscheidung für ein Mitarbeitereinsatzkonzept sind in einem ersten Schritt die Materialflüsse zu analysieren, weshalb auch für diesen Bereich insbesondere Methoden zur Materialflussanalyse empfohlen werden. Erst auf Basis der erwarteten Schwankungen und der Schwachstellen im Materialfluss kann ein geeignetes Konzept ausgewählt werden. Der Einsatz des Gestaltungsansatzes KAPOVAZ oder die Realisierung eines bedarfsorientierten variablen Schichtendes ist beispielsweise nur bei stark schwankenden Aufträgen sinnvoll.

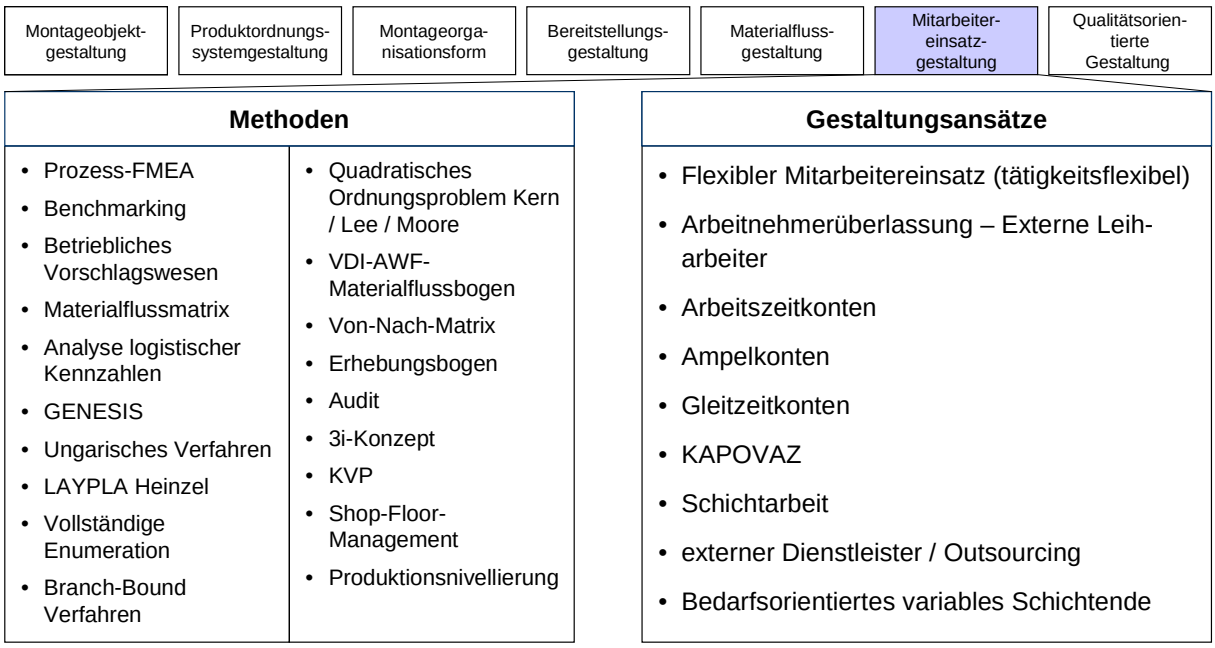


Abbildung 4-28: Methoden und Gestaltungsansätze zur Mitarbeiter-einsatzgestaltung

Für hoch komplexe und einarbeitungsintensive Montagetätigkeiten eignet sich demgegenüber der Einsatz von häufig wechselnden, externen Leiharbeitern nur bedingt.

Zur qualitätsorientierten Gestaltung der Montage wurden 20 Methoden und Instrumente analysiert und 9 Gestaltungsansätze betrachtet. Die Methoden sind dazu geeignet sowohl die Prozess- als auch die Produktqualität zu steigern. Durch den Einsatz von Qualitätszirkeln, Shop-Floor-Management und die Implementierung von 6-S- und KVP-Prinzipien in der Montage wird der Qualitätsgedanke in der Organisation verankert und die Mitarbeiter werden darin bestärkt, qualitätsorientiert zu denken und arbeiten. Die Gestaltungsansätze zur qualitätsorientierten Gestaltung sind beispielsweise Ansätze zu Prüfmodalitäten, wie die Realisierung einer 100%-Prüfung. Bauteile und Produkte, deren Einsatz sicherheitsrelevant ist, sind einer Vollprüfung zu unterziehen. Im Rahmen der qualitätsorientierten Gestaltung werden zudem Ansätze überprüft, die festlegen, welcher Mitarbeiter für die Prüfung und Fehlerbeseitigung zuständig ist. Die Qualitätsprüfung kann beispielsweise durch den Montagemitarbeiter erfolgen, um Schnittstellen im Prozess zu vermeiden und die Qualitätsorientierung der Mitarbeiter zu steigern.

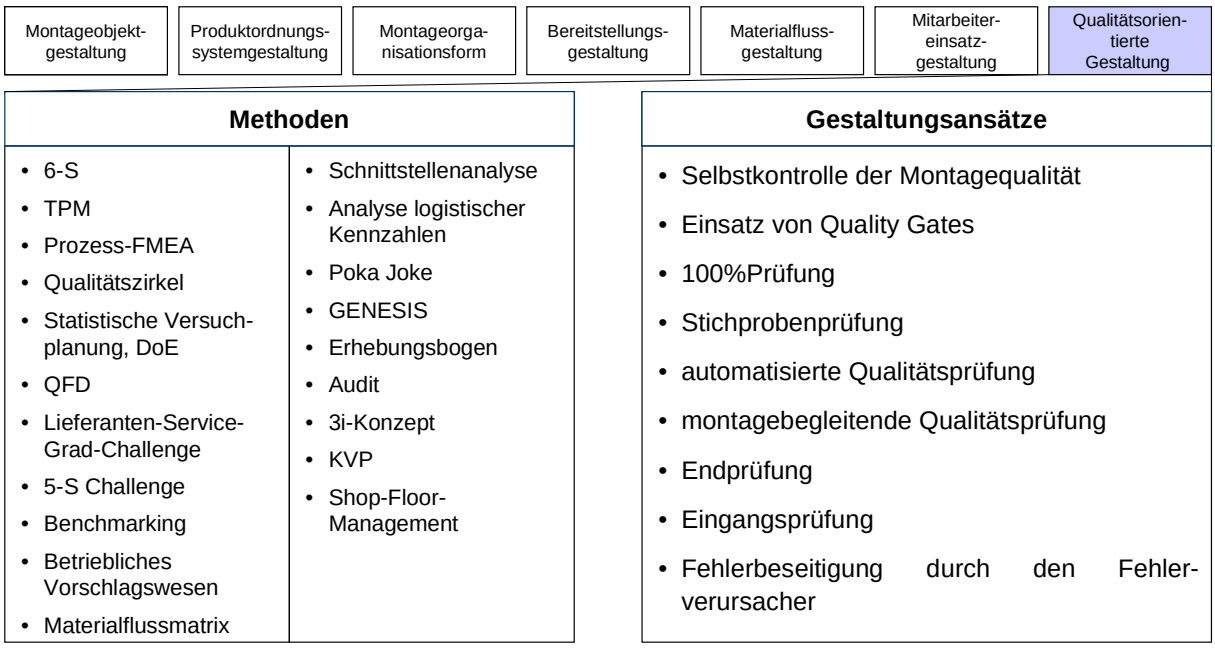


Abbildung 4-29: Methoden und Gestaltungsansätze zur qualitätsorientierten Gestaltung

4.3.3 Bewertungskonzept

Die auf Basis der Analysen identifizierten Gestaltungsansätze zur Produkt- und Montagegestaltung werden in Phase 5 des Montagekonfigurationsprozesses im Sinne der erweiterten Wirtschaftlichkeitsbewertung beurteilt. Dazu wurden alle im Modell berücksichtigten Gestaltungsansätze hinsichtlich der ermittelten Zielgrößen bewertet.

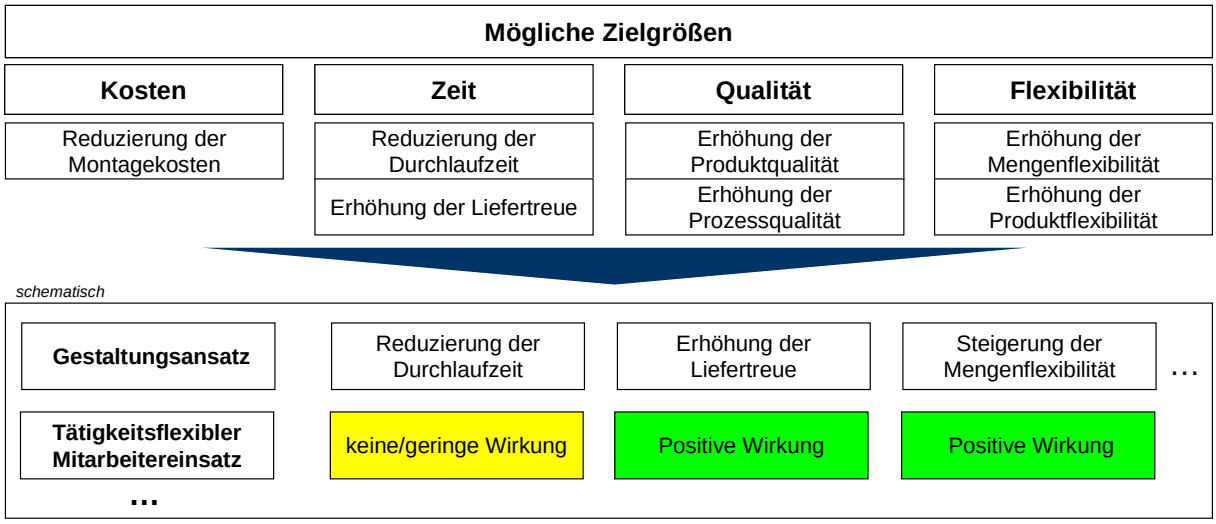


Abbildung 4-30: Bewertungskonzept für Gestaltungsansätze

Demzufolge erfolgte auf Basis der theoretischen und empirischen Analysen eine Bewertung der Gestaltungsansätze hinsichtlich ihrer Zielwirkung bezüglich der Kosten-, Zeit-, Qualitäts- und Flexibilitätsziele. Die Zielgrößen sowie das Grundprinzip der Bewertung sind in Abbildung 4-30 dargestellt. Die Bewertung der Gestaltungsansätze basiert auf einer fünfstufigen Skala (-2 bis +2). Wenn der Gestaltungsansatz beispielsweise eine negative Wirkung auf die Zielgröße aufweist, wird er bezüglich der Zielgröße mit -2 oder -1 bewertet. Wenn keine oder nur eine geringe Wirkung vorliegt, erfolgt eine Bewertung mit dem Wert 0 und bei positiver Wirkung werden die Werte +1 oder +2 vergeben. Eine Darstellung des Bewertungskonzepts je Gestaltungsansatz erfolgt in Abbildung 4-31.

Gestaltungsansatz	**Zielwirkung: Reduzierung der Montagekosten**	**Zielwirkung: Steigerung der Mengenflexibilität**	**Zielwirkung: Steigerung der Produktflexibilität**	**Zielwirkung: Erhöhung der Liefertreue**	**...**
Realisierung eines U-Layouts	2	2	-1	0	...
Kanban	2	1	-1	1	...
KAPOVAZ	0	2	2	2	...
...	...	...	...	...	...

Abbildung 4-31: Gestaltungsansätze - Bewertungskonzept im Detail (Auszug)

Auf Basis der Bewertungsergebnisse wird es den Experten der Unternehmen ermöglicht, diejenigen Gestaltungsansätze auszuwählen, die für die jeweiligen Montageziele am Besten geeignet sind.

Zur Bewertung der im Rahmen der Modellausgestaltung ermittelten Methoden wird ein 3-stufiges Bewertungskonzept eingesetzt. Die Methoden können gut geeignet, geeignet oder nicht geeignet für die Realisierung der Gestaltungsansätze sein. Die Methoden werden dementsprechend gekennzeichnet, um dem Experten bei der Auswahl die Entscheidung zu erleichtern. Dabei ist es möglich, dass ausgewählte Methoden für mehrere Gestaltungsbereiche geeignet sind. Die Bewertung der Methoden basiert im Wesentlichen auf den Literaturanalysen zu den Einsatzfeldern der Methoden. Ergänzt wurden die theoretischen Erkenntnisse durch die Diskussion mit den Experten.

Methoden	**Eignung für Gestaltungsansätze: Bereitstellung**	**Eignung für Gestaltungsansätze: Layout/Materialfluss**	**Eignung für Gestaltungsansätze: Mitarbeitereinsatz**	**...**
Werstromanalyse	gut geeignet	gut geeignet	nicht geeignet	...
Benchmarking	geeignet	geeignet	geeignet	...
Kreisverfahren nach Schwerdtfeger	gut geeignet	gut geeignet	nicht geeignet	...
...	...	...	...	...

Abbildung 4-32: Methoden - Bewertungskonzept im Detail (Auszug)

Ein Auszug der Bewertungssystematik ist in Abbildung 4-32 dargestellt. Neben der qualitativen Bewertung der Gestaltungsansätze und Methoden erfolgt die Empfehlung zur monetären Beurteilung der Ergebnisse. Dabei wird auf die Erkenntnisse aus den theoretischen Analysen zurückgegriffen. Diese wurden um die Ergebnisse aus der standardisierten Befragung der Montageexperten ergänzt.

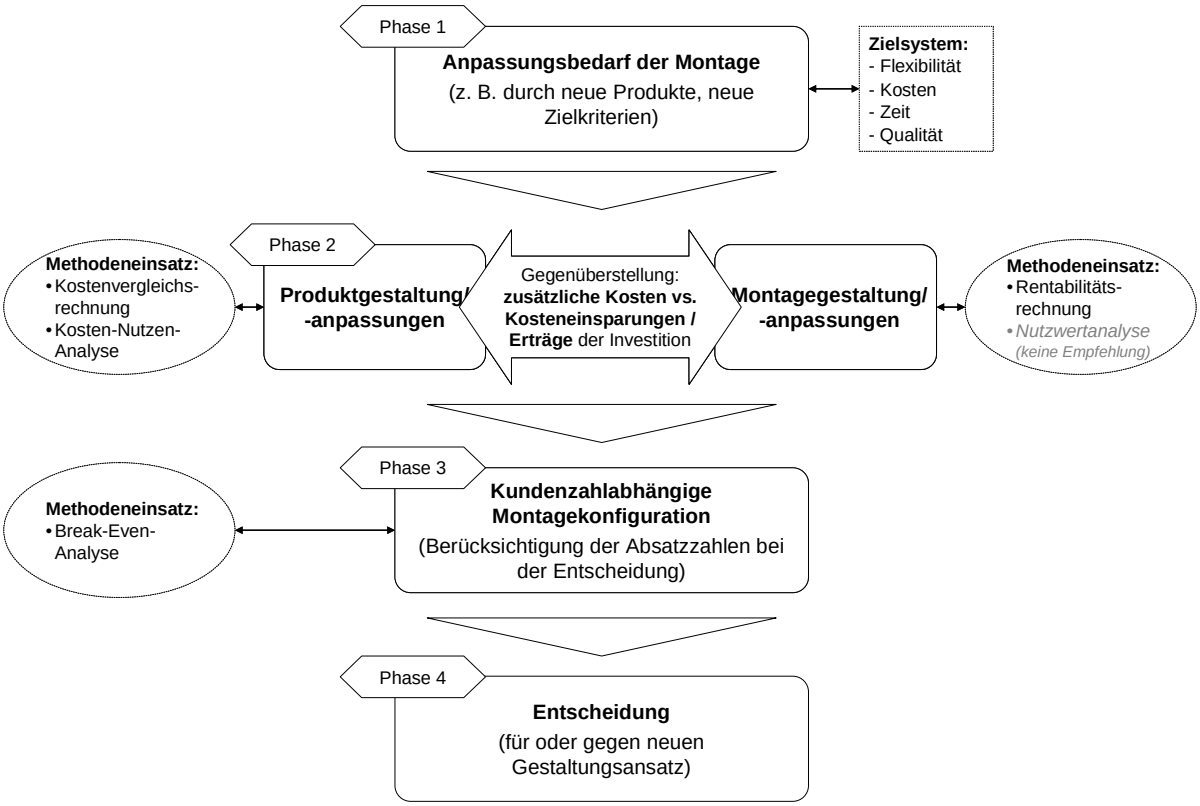


Abbildung 4-33: Einordnung der Methoden zur Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die Expertenbefragung ergab, dass die Nutzwertanalyse bei KMU weniger häufig mit Erfolg eingesetzt wird, als die restlichen Methoden zur Wirtschaftlichkeitsbewertung. Sie wird demzufolge nur bedingt beim Einsatz der monetären Bewertung empfohlen. Die finale Einordnung der Methoden zur Wirtschaftlichkeitsbewertung ist in Abbildung 4-33 abgebildet

Die stufenweise Vorgehensweise zur Wirtschaftlichkeitsbewertung ist in Abbildung 4-34 zusammenfassend dargestellt. Während die Beurteilung der Gestaltungsansätze und Methoden IT-gestützt erfolgt, ist die letztendliche Entscheidung für einen oder mehrere Gestaltungsansätze durch den jeweiligen Experten zu treffen. Unterstützt wird der Experte dabei durch das Aufzeigen der Zielwirkungen der Gestaltungsansätze sowie durch die Steckbriefe, die die Inhalte sowie Vor- und Nachteile der Methoden und Gestaltungsansätze zusammenfassen.

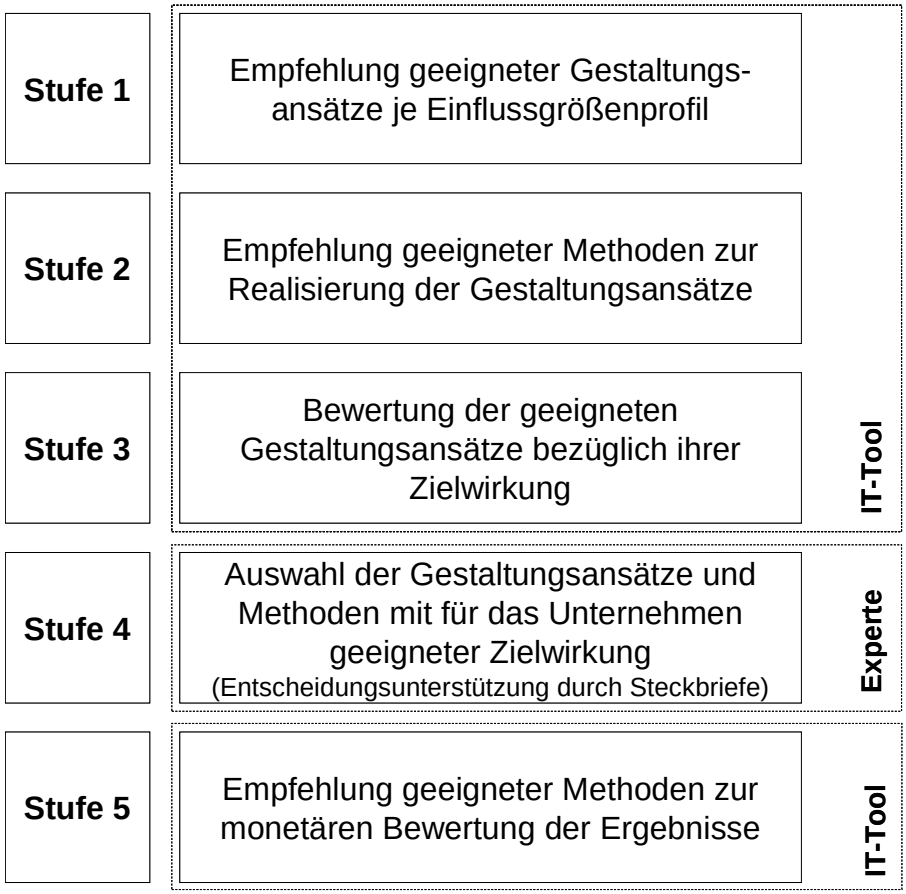


Abbildung 4-34: Fünfstufige Vorgehensweise bei der Wirtschaftlichkeitsbewertung

4.3.4 Expertengespräche zur Überprüfung des Modells

Die Ergebnisse der Modellbildung wurden 12 Montageexperten vorgestellt (vgl. Abb. 4-35). Diese Gespräche dienten sowohl der Überprüfung als auch der Ergänzung der erarbeiteten Erkenntnisse zur Montagekonfiguration. Die Unternehmen setzten sich aus KMU und GU zusammen und es waren Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses und weitere interessierte Unternehmen in die Überprüfung involviert, um einen umfassenden Modelltest sicherzustellen. Der Modelltest setzte sich aus den drei Bestandteilen Modellvorstellung, Abfrage von Gestaltungsansätzen und Methoden sowie Diskussion der IT-Tool-Konzeption zusammen. Die Vorstellung, Besprechung und Ergänzung der Forschungsergebnisse wurde, wenn möglich, durch eine Führung durch die Montage der Unternehmen ergänzt.

Expertengespräche (Modelltest und –ergängzung)	**Branche**	**Unternehmens-typ**	**Fertigungsart in der Montage**
SIEPMANN	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
MODINE	Automobilzulieferer, Montagedienstleister	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
SENNHEISER	Elektrotechnik, Elektronik	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
RATIONAL	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
KNORR-BREMSE	Maschinenbau, Automobilzulieferer	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
AGCO	Fahrzeugbau	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Eissmann Group Automotive	Automobilzulieferer	GU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
roding	Fahrzeugbau	KMU	Einzelfertigung
SCHLEIFRING	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
AGFA HealthCare	Maschinenbau, Medizintechnik	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung
stryker LEIBINGER	Medizintechnik	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung, Serienfertigung
Möhlenhoff	Maschinenbau	KMU	Einzel- und Kleinserienfertigung

Abbildung 4-35: Expertengespräche zur Modellüberprüfung

Dabei wurde am praktischen Beispiel der Erfolg der diskutierten Gestaltungsansätze und Methoden visualisiert. Die erwartete Zielwirkung der ausgewählten Gestaltungsansätze wurde dadurch zudem am Praxisbeispiel überprüft. In Abbildung 4-36 ist ein Beispiel einer Agenda eines Expertengesprächs zur Überprüfung und Ergänzung des Modells zur Montagekonfiguration dargestellt. In Abhängigkeit von den Wünschen der Unternehmensvertreter können Ablauf und Länge der Gespräche variieren. Im ersten Schritt wurde den Experten der Montagekonfigurationsprozess sowie die Gestaltungsansätze und Methoden je Phase vorgestellt. Außerdem wurde der Algorithmus zur Auswahl geeigneter Gestaltungsansätze aufgezeigt. Darauf aufbauend wurden die Unternehmen um Feedback und Verbesserungsvorschläge bezüglich des Modells und der Modellinhalte gebeten. Die Ergänzung der Modellergebnisse erfolgte dabei entlang der Phase des Montagekonfigurationsprozesses. Nachdem den Experten der Montagekonfigurationsprozess, die Einflussgrößen sowie die Gestaltungsansätze und Methoden hinsichtlich der Praxistauglichkeit und Anwendbarkeit beurteilt hatten, wurde sie dazu aufgefordert, sowohl die Gestaltungsansätze als auch die Methoden auf Basis der eigenen Erfahrung im Unternehmen zu ergänzen.

Agenda Expertengespräch - Forschungsprojekt „Neue Montagekonzepte“

Datum, Uhrzeit:	**02. Juni 2010, 12:00 Uhr – 17:00 Uhr**
Ort:	**Landsberg a. Lech**
Interviewer:	**Adrian Markgraf, Carola Steinbauer**

12:00 – 12:15 Uhr	**Begrüßung**
12:15 – 13:00 Uhr	**Vorstellung der bisher erzielten Ergebnisse** (Zielsetzung, Einflussgrößen, Gestaltungsansätze, Methoden, IT-Tool-Konzeption)
13:00 – 15:00 Uhr	**Führung durch die Montage**
15:00 – 16:30 Uhr	**Diskussion weiterer Gestaltungsansätze zur Montagegestaltung** (Diskussion erfolgreicher Gestaltungsansätze und Methoden)
16:30 – 17:00 Uhr	**Diskussion IT-Tool-Konzeption**

Abbildung 4-36: Agenda: Expertenbefragung zur Modellüberprüfung (Beispiel)

Phase des Montage-konfigurationsprozesses	Nr.	Beschreibung des Gestaltungsaspekts	Weshalb ist der Aspekt wichtig?
Montageobjektgestaltung	1	Ergonomische Produktgestaltung; Einfache Bewegungsmuster beim Fügen	Aspekt ist sinnvoll, da bei manueller Montage sowohl der Montagemitarbeiter gering belastet wird als auch die Bearbeitungszeit reduziert wird
	2	Technologische Produktgestaltung: Reduzierung der Bauteile unter Berücksichtigung jeweils aktueller/neuester Fertigungstechnologien	Vermeidung von unnötigen Komponenten auf Basis der im Werk vorhanenden Technolgien, Fertigung in einem Stück durch Einsatz und/oder Entwicklung neuer Technolgien
	3	Qualitätsorientierte Produktgestaltung / Toleranzbestimmung: Zur Vermeidung unnötiger Prüfungen, Unterstützung möglicher Prozessvalidierungen mit hoher Prozessfähigkeiten -> niedrige Prüflosgröße	Reduzierung unnötiger, aber zeitlich aufwendiger Prüfschritte aufgrund definierter "Angsttoleranzen" im Design.

Abbildung 4-37: Abfrage erfolgreicher Gestaltungsansätze in Experten-gesprächen (Auszug)

Ziel der Befragung war die Identifikation von weiteren, erfolgreichen Gestaltungsansätzen und Methoden aus der Montagepraxis. Die Unternehmensvertreter gaben jeweils an, welche Gestaltungsansätze und Methoden erfolgreich realisiert wurden und weshalb deren Realisierung gegebenenfalls auch für andere Unternehmen von Bedeutung ist. In Abbildung 4-37 ist ein Auszug der Erfassung erfolgreicher Gestaltungsansätze eines Unternehmens am Beispiel des Gestaltungsbereichs der Montageobjektgestaltung zusammengefasst. Zur Diskussion der IT-Tool-Konzeption wurde die Oberfläche des Tools entlang der Vorgehensschritte ausgearbeitet und den Experten vorgestellt (vgl. Abb. 4-38).

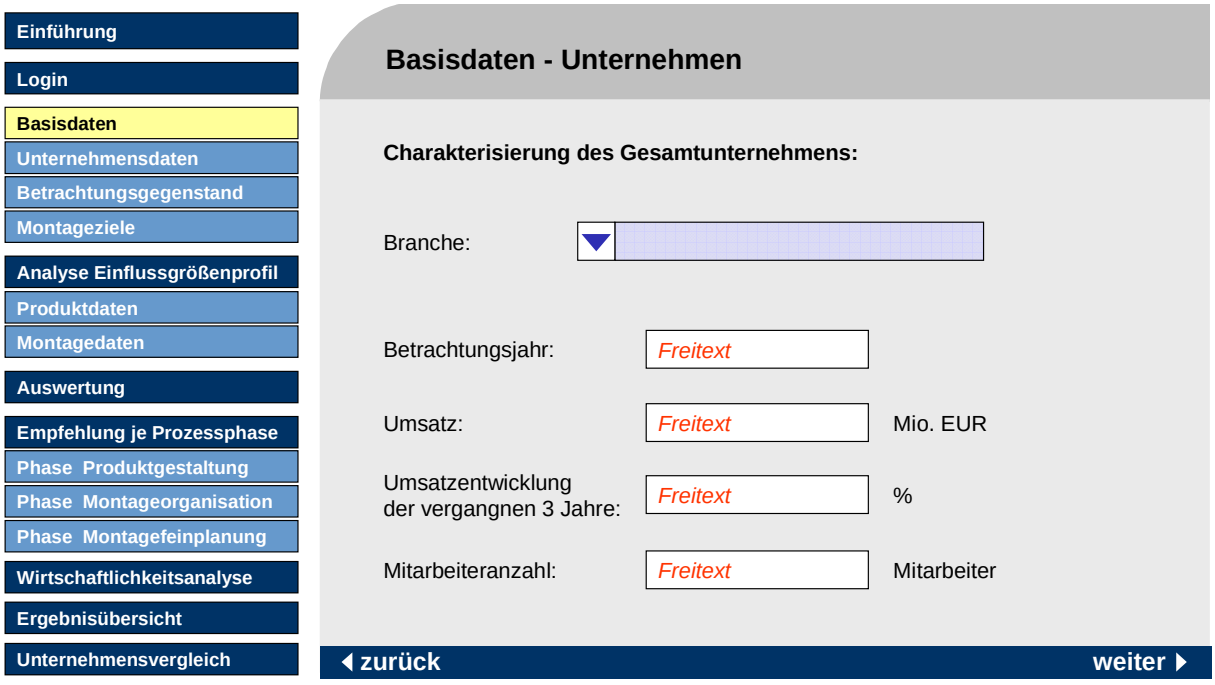


Abbildung 4-38: Vorstellung der IT-Tool-Konzeption (Auszug)

Den Experten wurde mithilfe der Visualisierung aufgezeigt, wie die Funktionalitäten des Modells im IT-Tool abgebildet werden. Dabei wurden sowohl die geplanten Inhalte und Funktionalitäten als auch die IT-Tool-Oberfläche und Anwenderfreundlichkeit des Tools diskutiert und von den Experten bewertet. Somit konnte sichergestellt werden, dass die Bedürfnisse der Unternehmen bei der finalen Toolausgestaltung berücksichtigt werden. Auf Basis der visuellen Darstellung konnten sowohl Verbesserungsvorschläge hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit als auch der Inhalte und Funktionalitäten des IT-Tools mit den Experten erarbeitet werden.

Die Vorgehensweise im Rahmen der Expertengespräche zur Modellüberprüfung und -ergänzung sowie zur Diskussion der IT-Tools ist in Abbildung 4-39 zusammenfassend dargestellt. Die intensive Zusammenarbeit mit den Unternehmen im Rahmen der Vorstellung und Besprechung der Forschungsfragen und -ergebnisse führte zudem zu einem nachhaltigen Transfer der Erkenntnisse in die Unternehmen.

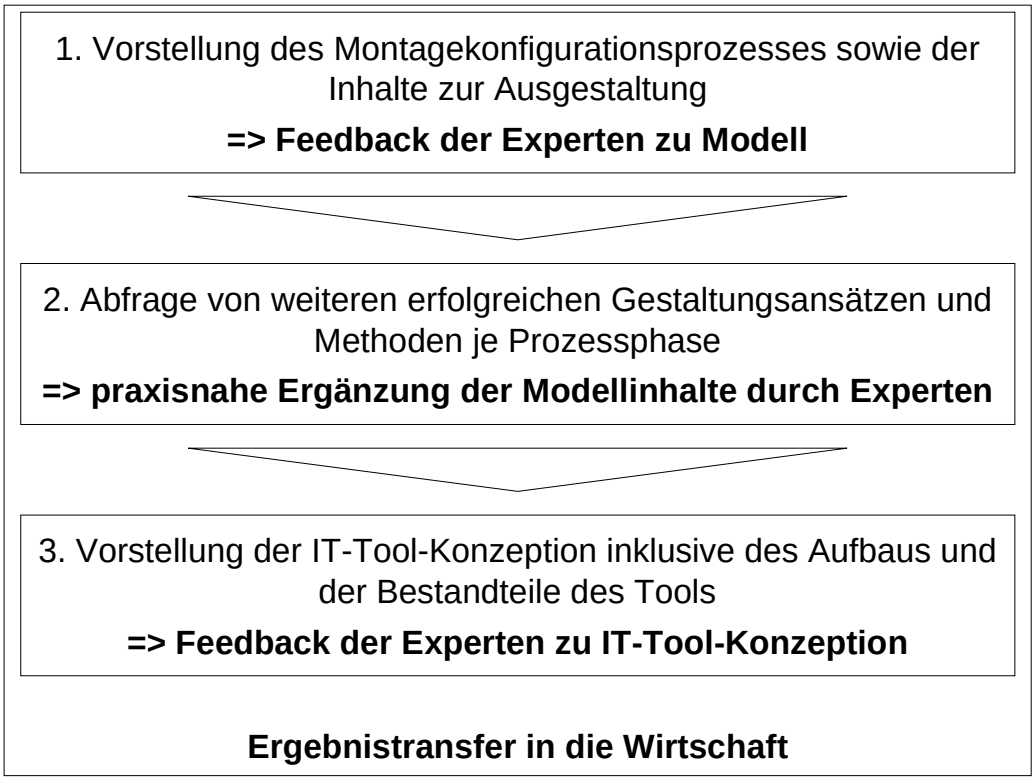


Abbildung 4-39: Vorgehensweise bei der Expertenbefragung zur Modellüberprüfung

4.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse zur Modellbildung

Ausgangspunkt der Modellbildung waren die theoretischen und praktischen Analysen zur Vorgehensweise bei der Konfiguration der Kleinserienmontage von KMU. Darauf aufbauend wurde ein 5-phasiger Montagekonfigurationsprozess erarbeitet (vgl. Abb. 4-40). Ausgehend von der Analyse der Rahmenbedingungen und Einflussgrößen des Unternehmens werden Empfehlungen zur Produkt-, Montageorganisations- und Montagegestaltung gegeben. Dies beinhalten sowohl Empfehlungen zu Gestaltungsansätzen als auch zu Methoden, die jeweils mit den Experten abgestimmt wurden. Die Ergebnisse der ersten vier Phasen münden in Phase 5 in einer Wirtschaftlichkeitsbewertung, die sowohl eine qualitative Zielbewertung als auch die Empfehlung von Methoden beinhaltet. Die Ergebnisse der Modellbildung werden schließlich in einem IT-Tool umgesetzt, dessen Inhalte und Benutzerfreundlichkeit von den Unternehmensvertretern beurteilt wurde.

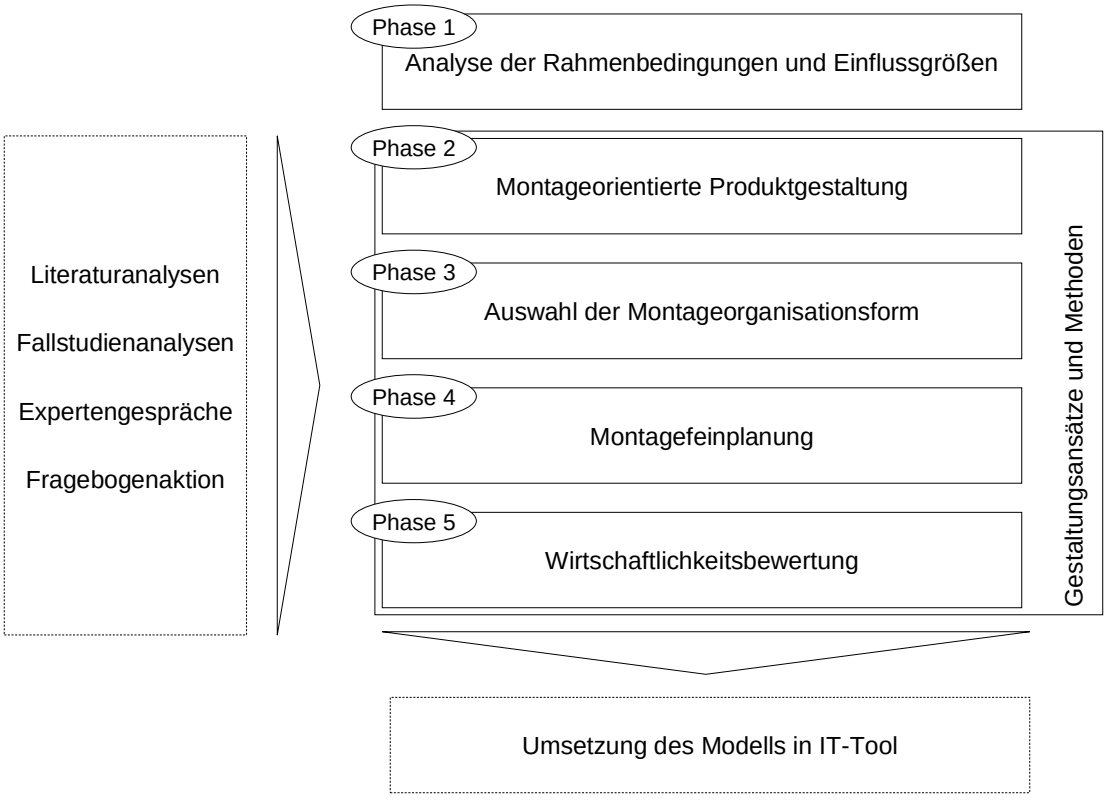


Abbildung 4-40: Zusammenfassung der Modellbildung

5 IT-Tool zur Konfiguration der Kleinserienmontage „Assembly Optimizer“

5.1 Anwendungsmöglichkeit und Nutzen des IT-Tools

Ziel des IT-Tools „Assembly Optimizer“ ist die Verbesserung der Montageleistung von Unternehmen, indem den Anwendern die Ergebnisse der Modellbildung strukturiert und benutzerfreundlich aufgezeigt werden. Zudem wird dem Anwender durch die Anwendung des IT-Tools der Vergleich mit erfolgreichen Ansätzen ähnlicher weiterer Unternehmen ermöglicht (vgl. Abb. 5-1). Das IT-Tool wird interessierten Unternehmen frei zugänglich zur Verfügung gestellt. Die Funktionalitäten des IT-Tools sind sofort nach der Registrierung durch den Anwender nutzbar und in den Unternehmensbereich der Montageplanung integrierbar. Das IT-Tool kann dabei sowohl von Unternehmen angewendet werden, die übergreifend auf der Suche nach neuen Gestaltungsansätzen und Methoden zur Montagegestaltung sind als auch von Unternehmen, die gezielt Teilbereiche der Montage optimieren wollen. Schwerpunkt der Anwendung liegt dabei auf der Verbesserung bereits bestehender Montagen. Zur Neukonfiguration der Montage im Sinne der Fabrikplanung ist das IT-Tool nur am Rande geeignet. Vielmehr werden dem Anwender gezielt geeignete Gestaltungsansätze aufgezeigt, aus denen der Experte die für den eigenen Bereich am Besten geeigneten Ansätze auswählen kann. Zudem werden Empfehlungen zum Methodeneinsatz im Rahmen der Produkt- und Montagegestaltung gegeben.

Struktur des IT-Tools Assembly Optimizer		
Bereich 1	**Empfehlungen zur Montagekonfiguration** (Gestaltungsansätze und Methoden aus Forschungstätigkeit)	Festgelegter, auf Modell zur Montagekonfiguration basierender Bereich
Bereich 2	**Unternehmensvergleich** (Gestaltungsansätze und Methoden von Experten)	Dynamisch wachsender Bereich durch Ergänzungsmöglichkeit der Erkenntnisse

Abbildung 5-1: Struktur des IT-Tools

Die abgebildeten Methoden und Gestaltungsansätze werden mithilfe von im IT-Tool hinterlegten Steckbriefen beschrieben. Diese sind ausdruckbar und können im Sinne einer Methodensammlung auch nach Anwendung des IT-Tools zur Kurz-Information verwendet werden. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist der im IT-Tool implementierte Unternehmensvergleich. Der Unternehmensvergleich basiert auf frei von Unternehmen eingegebenen Daten zu erfolgreichen Gestaltungsansätzen und Methoden im Rahmen der Montageplanung. Auf Basis der Ausprägungen der Einflussgrößen wird es dem Anwender ermöglicht, die Eingaben vergleichbarere Unternehmen zu extrahieren und als Anregung für die eigene Produkt- und Montagegestaltung zu nutzen.

Der Nutzen des IT-Tools liegt darin begründet dass dem Anwender auf einfache und strukturierte Weise ein Vorgehen zur Verfügung gestellt wird, mit dessen Hilfe anforderungsspezifische Empfehlungen zur Produkt- und Montageverbesserung gegeben werden. Da die Empfehlungen auf den von den Unternehmen ausgewählten konkreten Zielen und spezifischen Rahmenbedingungen basieren, ist damit eine zielgerichtete und individuelle Verbesserung der Montage realisierbar. In Abhängigkeit von den gewählten Unternehmenszielen können durch die Umsetzung der Gestaltungsempfehlungen sowohl Montagekosten reduziert werden als auch die Mengen- und Produktflexibilität erhöht werden. Zudem lassen sich gezielt Durchlaufzeiten reduzieren als auch die Liefertreue sowie die Produkt- und Prozessqualität erhöhen.

Forschung- und Entwicklung		
Montage- und Fertigungsplanung		
Effektivität	**Effizienz**	**Transparenz**
✓ Unternehmensspezifische Empfehlungen ✓ Sofort anwendbares, benutzerfreundliches IT-Tool ✓ Berücksichtigung individueller Ziele	✓ Reduzierung des Rechercheaufwands bzgl. Methodeneinsatz ✓ Ressourcenschonung ✓ Reduzierung des Aufwands bei der Auswahl von Ansätzen	✓ Standardisierte Steckbriefe für Methoden und Gestaltungsansätze ✓ Transparente, visualisierte Bewertung der Ansätze ✓ Ausdruckfähige Empfehlungen

Abbildung 5-2: Anwendungsbereiche und Nutzen des IT-Tools

Neben der zielorientierten Optimierung ermöglicht das IT-Tool die Reduzierung des Aufwands bei der Auswahl geeigneter Methoden zur Produkt- und Montageverbesserung. Durch die Bereitstellung von Methodensteckbriefen reduziert sich sowohl der zeitliche Aufwand bei der Identifikation geeigneter Methoden als auch bei der Schaffung eines Überblicks im Methodenbereich. Langfristig kann in Abhängigkeit von den gewählten Ansätzen und Methoden sowohl die Kommunikation zwischen Entwicklung und Montage als auch die Zusammenarbeit in der Montage verbessert werden.

5.2 Aufbau des IT-Tools

Die Menüführung für den Anwendungsbereich des IT-Tools Assembly Optimizer ist in Abbildung 5-3 dargestellt.

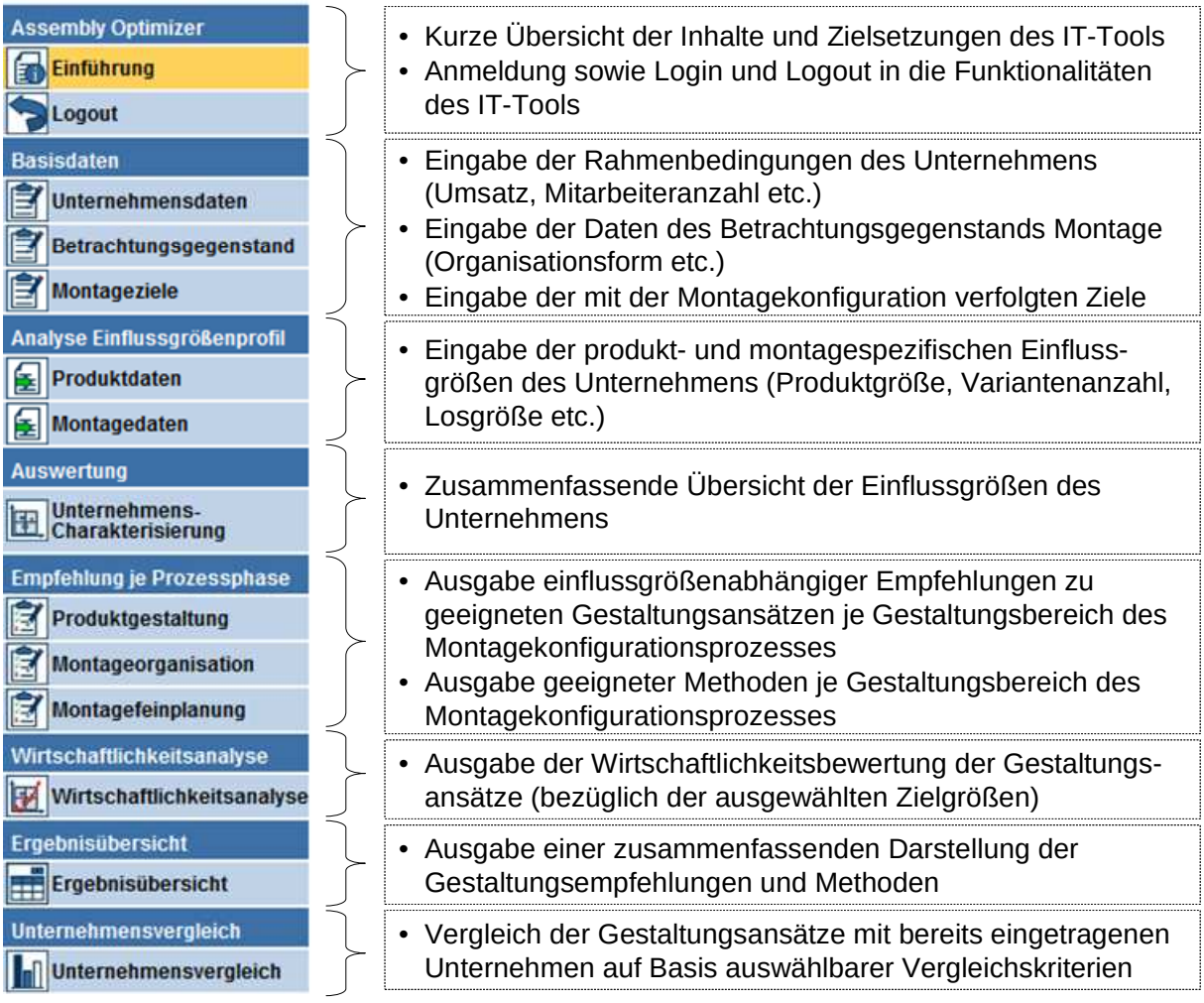


Abbildung 5-3: Menüführung des IT-Tools

Die Menüführung des Anwendungsbereiches ist in acht Bereiche untergliedert, die sich am Modell zur Montagekonfiguration anlehnen. Die einzelnen Menüpunkte und ihre Inhalte werden nachfolgend mithilfe von Screenshots erläutert. Nach dem Aufrufen des Web-Links erscheint die Startseite. Die Startseite beschreibt in einem Satz kurz das Ziel des IT-Tools und bietet über den Button „Login“ die Möglichkeit, in den Login-Bereich zu gelangen. Wenn der Anwender bereits einen Login beantragt hatte, kann er sich dort mit seinen Zugangsdaten einloggen. Wenn der Anwender noch keinen Login besitzt, kann er durch die Angabe des Unternehmens, seines Namens und seiner E-Mail-Adresse die Login-Daten anfordern. Mit den darauf per E-Mail an ihn versandten Login-Daten kann sich der Anwender beliebig oft in das IT-Tool einloggen.

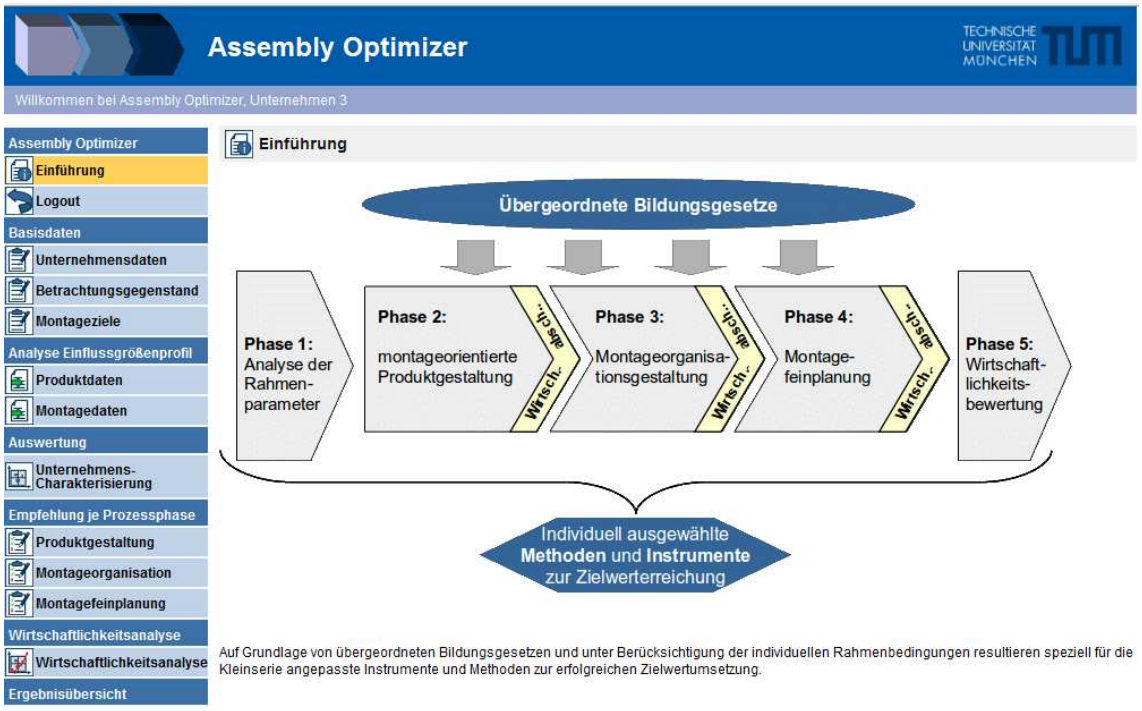


Abbildung 5-4: Screenshot - Einführung

Der Einführungsbereich des IT-Tools beinhaltet zudem eine kurze Beschreibung der fünf Phasen des Montagekonfigurationsprozesses. Außerdem wird kurz auf die Ziele, die mit dem IT-Tool verfolgt werden, eingegangen. Nach der Einführung in die Funktionalitäten des IT-Tools, gelangt man in den Bereich zur Erfassung der Basisdaten. Die Basisdatenerfassung ist in die drei Unterbereiche Unternehmensdaten, Daten des Betrachtungsgegenstands und Montageziele unterteilt.

Abbildung 5-5: Screenshot - Unternehmensdaten eingeben

Das Dialogfeld Unternehmensdaten beinhaltet die Erfassung charakteristischer Unternehmensdaten, wie beispielsweise die Branche und den Umsatz des Unternehmens. Die Branche kann über ein Drop-down-Menü angegeben werden, die weiteren Felder müssen mit Zahlen befüllt werden. Die Eingabefelder sind zudem Mussfelder. Demzufolge kann der Anwender der Menüführung nicht weiterfolgen, ohne die Felder mit einer Zahl ausgefüllt zu haben. Die Charakterisierung des Betrachtungsgegenstands Montage erfolgt über die Angabe der Montageorganisationsform sowie Angaben zum Automatisierungsgrad in der Montage. Über die „weiter“- und „zurück“-Buttons ist es dem Anwender möglich, zwischen den Dialogfeldern zu navigieren um bei Bedarf Eingabefelder zu ergänzen oder anzupassen.

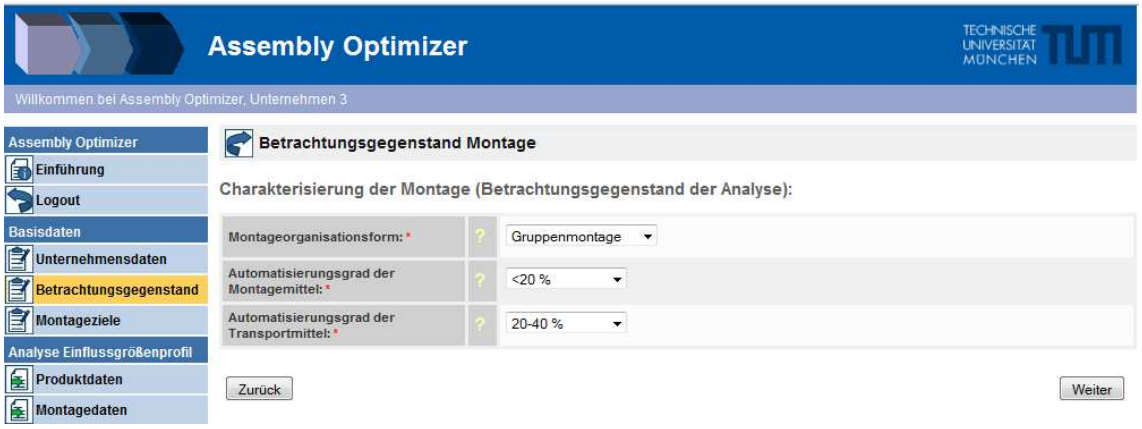


Abbildung 5-6: Screenshot - Daten des Betrachtungsgegenstands eingeben

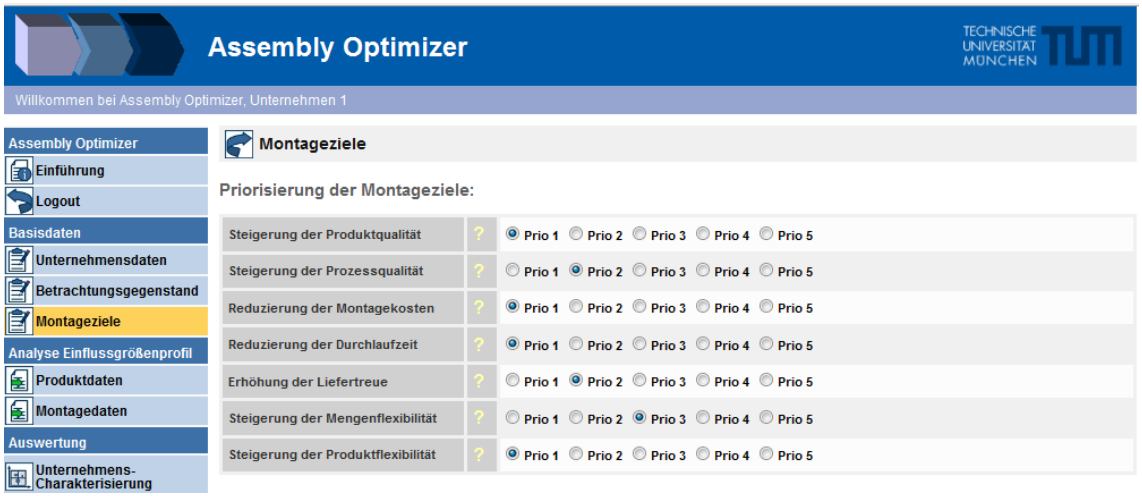


Abbildung 5-7: Screenshot - Montageziele eingeben

Im darauf folgenden Dialogfeld kann der Anwender die Ziele, die er mit der Montagegestaltung verfolgt, priorisieren (vgl. Abb. 5-7). Die Priorisierung reicht vom Wert Prio 1 bis zum Wert Prio 5. Unter Berücksichtigung der Zielpriorisierung werden im Bereich der Gestaltungsempfehlungen die Gestaltungsansätze in Abhängigkeit der Priorisierung angeordnet. Im Rahmen der Zielpriorisierung ist es möglich, mehrere Ziele mit dem gleichen Prioritätswert zu bewerten. Nachdem die Basisdaten des Unternehmens erfasst sind, wird im nächsten Schritt das Einflussgrößenprofil des Unternehmens und der Montage ermittelt.

Der Menüpunkt „Analyse Einflussgrößenprofil“ beinhaltet die Erfassung der Einflussgrößen. Um eine strukturierte Eingabe sicherzustellen, ist der Bereich in die Untergruppen Produkt- und Montagedaten unterteilt, die jeweils durch Dialogfelder abgebildet werden. Im Bereich der Produktdatenerfassung werden sowohl Daten zum Produkt als auch Daten zur Produktprogrammkomplexität auf jeweils separaten Dialogfeldern vom Anwender eingegeben (vgl. Abb. 5-8). Im Erfassungsbereich der Montagedaten können Daten zur Montage sowie Daten zur Dynamik eingegeben werden. Die Angabe der Ausprägung der Einflussgrößen erfolgt dabei mithilfe von Anklickfeldern mit jeweils zwei Auswahlmöglichkeiten (beispielsweise „hoch“ und „gering“). Zudem kann eine Konkretisierung der Einflussgrößen durch die Eingabe eines Werts in den freien Textfeldern erfolgen. Die freien Textfelder sind jedoch keine Mussfelder, weshalb der Erfassungsaufwand für den Anwender gering bleibt.

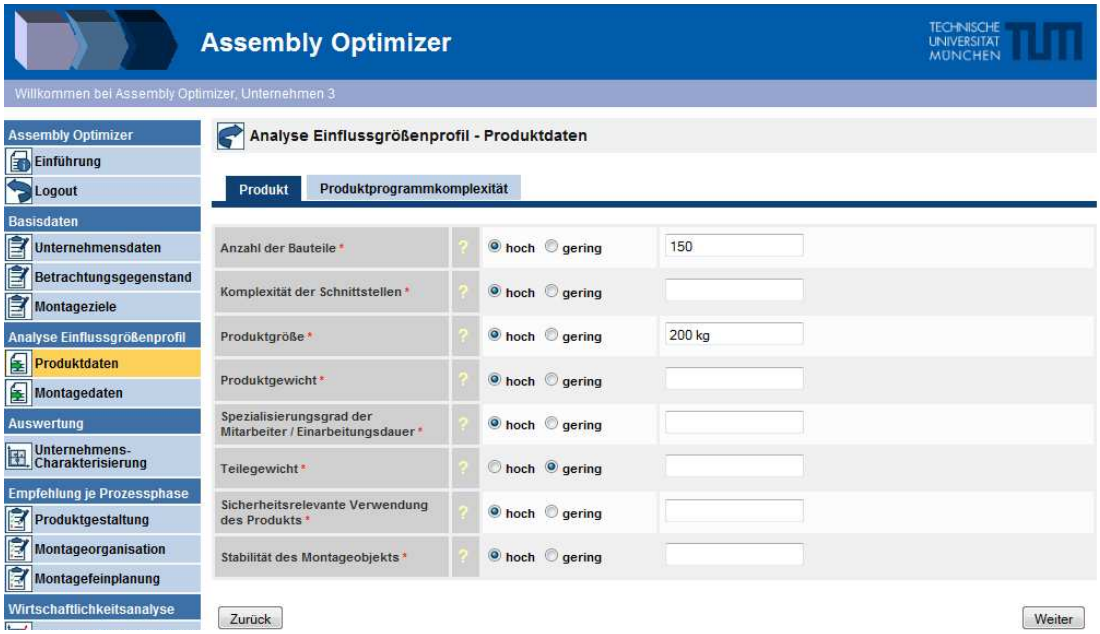


Abbildung 5-8: Screenshot Analyse Einflussgrößenprofil – Produktdaten eingeben

Zur Unterstützung der Anwender bei der Entscheidung für eine Ausprägung der Einflussgröße sind Hilfefelder implementiert (vgl. Abb. 5-9). Aufgerufen werden kann die Hilfefunktion über die Fragezeichenbuttons („?“), die jeweils nach der Bezeichnung der Einflussgröße implementiert sind. In den Hilfefeldern sind Werte zur Orientierung angegeben, die aufzeigen, in welcher Größenordnung sich die genannten Parameter befinden. Die Werte zur Orientierung basieren dabei auf den konkreten Parameterwerten der Einflussgrößen.

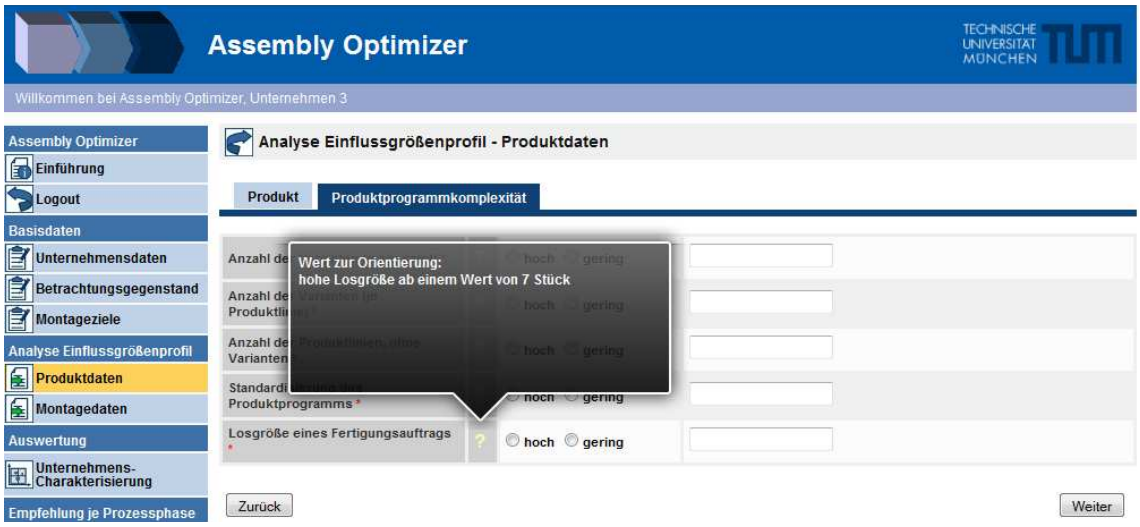


Abbildung 5-9: Screenshot Analyse Einflussgrößenprofil – Hilfefunktion

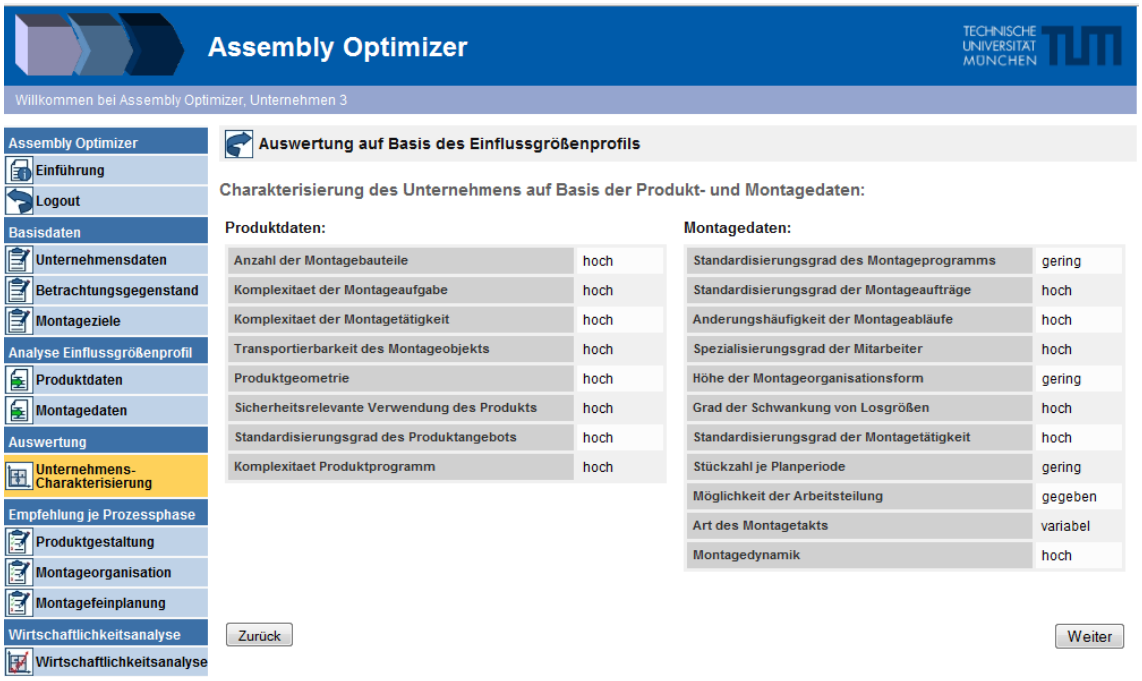


Abbildung 5-10: Screenshot - Unternehmenscharakterisierung

Im Anschluss an die Erfassung der produkt- und montagebezogenen Einflussgrößen werden die gewählten Ausprägungen in einem Übersichtsbild aufgezeigt. Das Übersichtsbild dient dazu, dem Anwender eine Möglichkeit zu geben, die Einflussgrößen auf einen Blick zu überprüfen. Da die Einflussgrößenausprägungen die Basis für die Gestaltungsempfehlungen bilden, ist es von hoher Relevanz, dass sie korrekt eingegeben wurden. An dieser Stelle kann der Anwender die bereits gemachten Angaben nach der Prüfung noch einmal anpassen.

Nach der Überprüfung der Einflussgrößen werden dem Anwender Gestaltungsempfehlungen und Methoden je Prozessphase aufgezeigt. Die Empfehlungen erfolgen nacheinander für die Produktgestaltung, die Gestaltung der Montageorganisationsform und die Montagegestaltung. Die Empfehlungen zur Produktgestaltung sind analog der Phasen des Montagekonfigurationsprozesses in die Montageobjektgestaltung und die Produktordnungssystemgestaltung unterteilt. Die Unterteilung der Empfehlungen zur Montagegestaltung erfolgt demzufolge in die Bereiche Bereitstellung, Layout-/Materialfluss, Mitarbeitereinsatz und Qualität. In Abbildung 5-11 sind Gestaltungsempfehlungen für den Bereich der Produktordnungssystemgestaltung visualisiert.

Abbildung 5-11: Screenshot - Gestaltungsempfehlungen zu Produktordnungssystemen

Es werden jeweils die Gestaltungsempfehlungen aufgezeigt, die für die angegebene Einflussgrößenkombination erfolgversprechend sind. Jeder der Gestaltungsansätze ist zudem mit einem Gestaltungsansatzsteckbrief hinterlegt, der über den Button „Steckbrief“ aufgerufen werden kann (vgl. Abb. 5-12).

Steckbrief Gestaltungsansatz: Einsatz von Gleichteilen

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter Gleichteilen werden die identischen Komponenten eines Produktordnungssystems verstanden, die variantenunabhängig sind und Varianten übergreifend eingesetzt werden. Synonym wird auch der Begriff Wiederholteile verwendet.

Das Ziel der Verwendung von Gleichteilen zur Ausgestaltung des Produktprogramms ist, möglichst viele identische oder ähnliche Bauteile innerhalb des Produktordnungssystems zu verwenden. Daraus ergibt sich im Montagevorgang eine Steigerung der Effizienz durch Standardisierung.

Die Standardisierung durch Gleichteile führt in der Montage zu geringeren Fehlerquoten und damit einer höheren Produktqualität. Zusätzlich werden Bearbeitungs- und Durchlaufzeiten und Kosten in der Montage reduziert.

Im Rahmen der Gleichteilestrategie ist zu berücksichtigen, dass Gleichteile ein breites Spektrum an Funktionen erfüllen und vielfältigen Anforderungen genügen müssen. Daher ist es notwendig, den idealen Grad an Gleichteilen zu bestimmen. Dabei sind die Stück-, Lagerhaltungs-, Rüst- und indirekten Komplexitätskosten zu berücksichtigen.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung von Fehlerquoten in der Montage
- Reduzierung von Beschaffungskosten durch Mengenvorteile

Nachteile

- Teilweise Steigerung der indirekten Komplexitätskosten durch hohe Anforderungen an Funktionen der Gleichteile

Zielwirkung

- Reduzierung von Montage- und Beschaffungskosten
- Erhöhung der Montagequalität durch Standardisierung im Montageablauf
- Steigerung der Mengen- und Produktflexibilität

Abbildung 5-12: Beispiel eines Gestaltungsansatzsteckbriefes

Die Steckbriefe beschreiben auf 1 bis 2 Seiten die Vorgehensweise und Inhalte des Gestaltungsansatzes, das Einsatzgebiet, die Vor- und Nachteile sowie die voraussichtliche Zielwirkung des Ansatzes. Die Steckbriefe erleichtern dem Anwender die Entscheidung, welche Gestaltungsansätze im Detail betrachtet und schließlich umgesetzt werden sollen.

Analog der Gestaltungsempfehlungen werden im IT-Tool die Methoden je Gestaltungsbereich aufgezeigt. Die Methoden sind danach bewertet, wie gut sie für die Umsetzung der Gestaltungsansätze geeignet sind. Gut geeignete Methoden sind zusätzlich grün und geeignete Methoden sind zusätzlich gelb gekennzeichnet (vgl. Abb. 5-13). Zur Unterstützung der Anwender beim Methodeneinsatz sind die Methoden außerdem jeweils mit einem Steckbrief hinterlegt. In Anlehnung an die Steckbriefe zu den Gestaltungsansätzen beinhalten die Methodensteckbriefe eine Beschreibung der Vorgehensweise beim Methodeneinsatz. Zudem wird angegeben, in welchen Phasen die Methode sinnvoll eingesetzt werden kann.

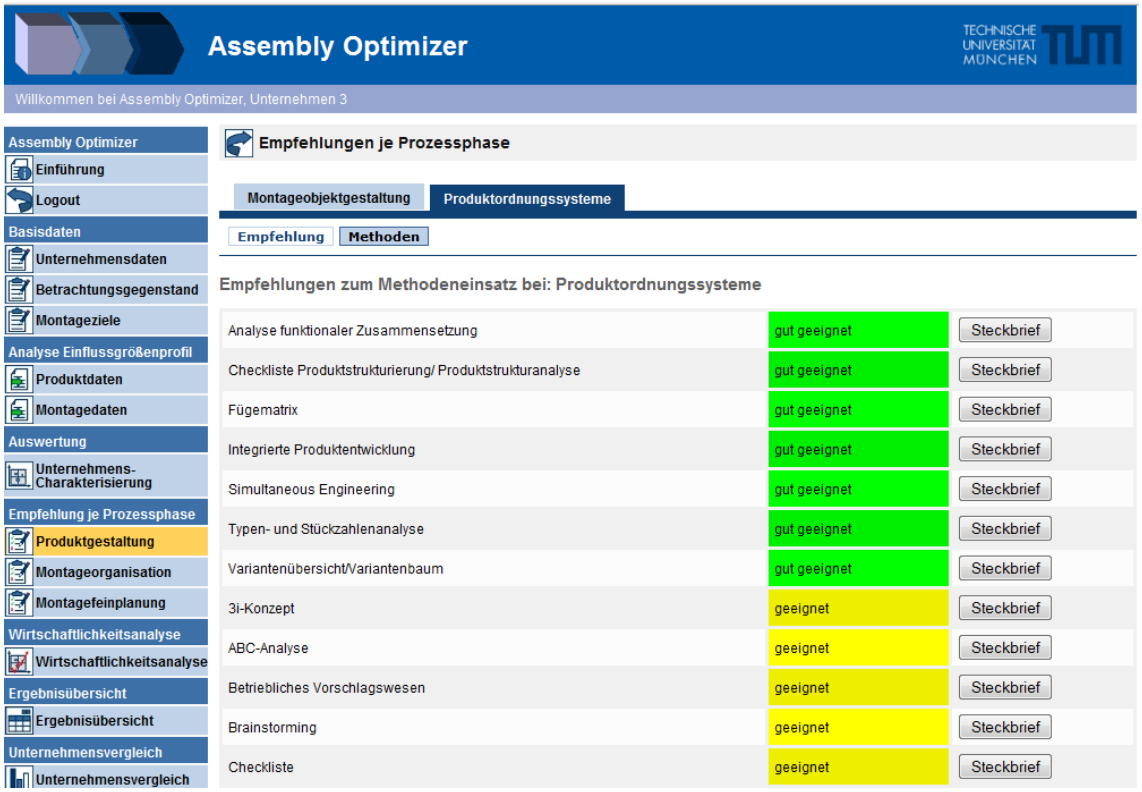


Abbildung 5-13: Screenshot - Methodenempfehlungen zu Produktordnungssystemen

Übergreifende Methoden, wie beispielsweise Benchmarking oder die Wertsromanalyse sind in mehreren Bereichen sinnvoll einzusetzen. Diese Methoden werden demzufolge in unterschiedlichen Gestaltungsbereichen als geeignet aufgezeigt. Neben dem Einsatzbereich werden die Vor- und Nachteile der Methode beschrieben sowie die erwartete Zielwirkung bei Einsatz der Methode aufgezeigt. In Abbildung 5-14 ist ein Beispiel eines Methodensteckbriefs dargestellt. Ziel ist dabei nicht eine ausführliche Beschreibung sondern die kurze und prägnante Charakterisierung der Inhalte und Einsatzbereiche der Methoden. Auf Basis der Angaben kann der Anwender entscheiden, welche Methoden eingesetzt werden sollen. Die Methodensteckbriefe sind zudem ausdruckbar und können als Methodensammlung für die genannten Bereiche verwendet werden.

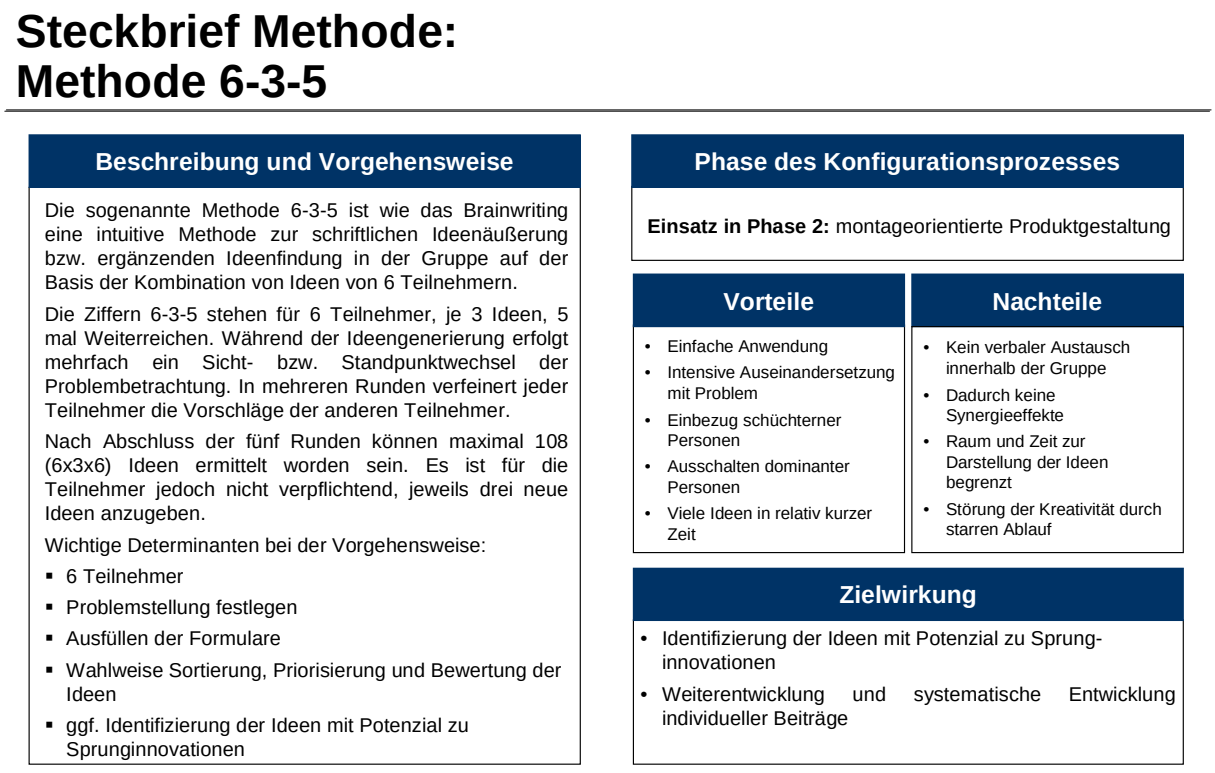


Abbildung 5-14: Beispiel eines Methodensteckbriefes

Im Bereich der Empfehlungen zur Montagefeinplanung kann der Anwender entscheiden, für welche Montageorganisationsform die nachfolgenden Empfehlungen gegeben werden sollen (vgl. Abb. 5-15). Die Auswahl der Organisationsform erfolgt über ein Drop-Down-Menü, in dem die relevanten Montageorganisationsformen aufgeführt sind. Diese Möglichkeit wurde implementiert,

da die befragten Unternehmen sowohl Empfehlungen für die bereits realisierte als auch für die empfohlene Organisationsform erhalten wollen. Diese Funktion ist notwendig, wenn die Empfehlung zur Montageorganisationsform auf Basis des Modells von der im Unternehmen vorliegenden Realität abweicht. Die Empfehlungen zu den Bereichen der Montagefeinplanung erfolgen nach Auswahl der Organisationsform analog der im Bereich der Produktgestaltung beschriebenen Vorgehensweise. Es werden die im Modell erarbeiteten Algorithmen zur Auswahl geeigneter Gestaltungsansätze durchlaufen und im Ergebnis werden dem Anwender die geeigneten Gestaltungsansätze sowie die dazugehörigen Steckbriefe angezeigt. Im Bereich der Montagefeinplanung wurden acht Dialogfelder implementiert, indem jeweils ein Feld für die Gestaltungsempfehlung und eines für die Methodenempfehlung je Gestaltungsbereich umgesetzt wurde.

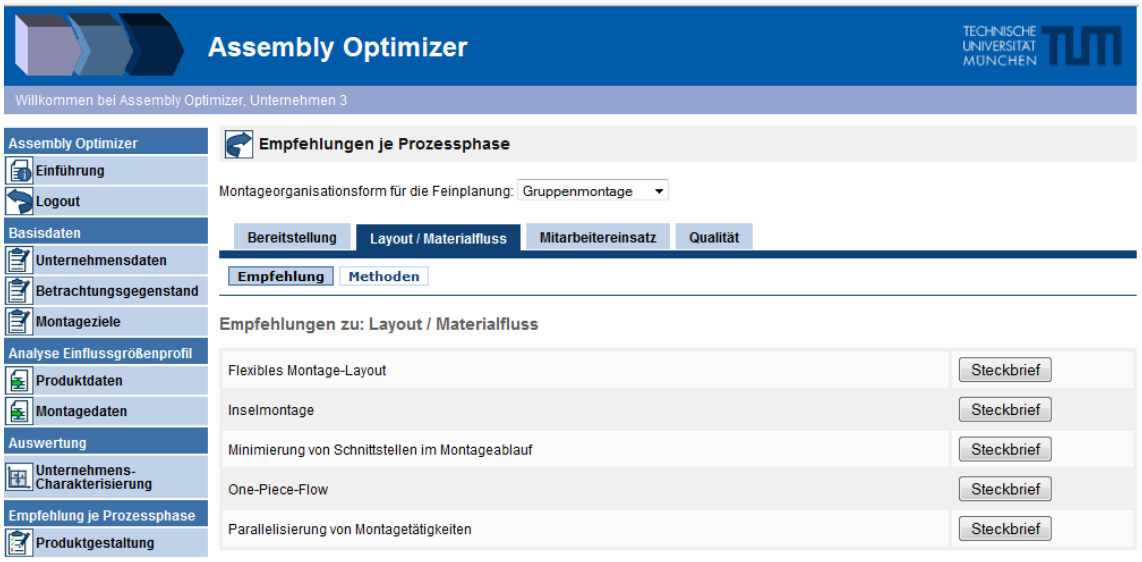


Abbildung 5-15: Screenshot - Gestaltungsempfehlung in Abhängigkeit von der Montageorganisationsform

Im Anschluss an die Empfehlungen zu den Gestaltungsansätzen und den Methoden erfolgt die Wirtschaftlichkeitsanalyse. Dazu werden die Gestaltungsansätze qualitativ hinsichtlich ihrer Zielwirkung eingeteilt. Zudem wird aufgezeigt, mit welcher Priorität das jeweilige Ziel verfolgt wurde. Dadurch ist es dem Anwender möglich, die empfohlenen Gestaltungsansätze unter Berücksichtigung derer jeweiligen Zielwirkung zu priorisieren und auszuwählen.

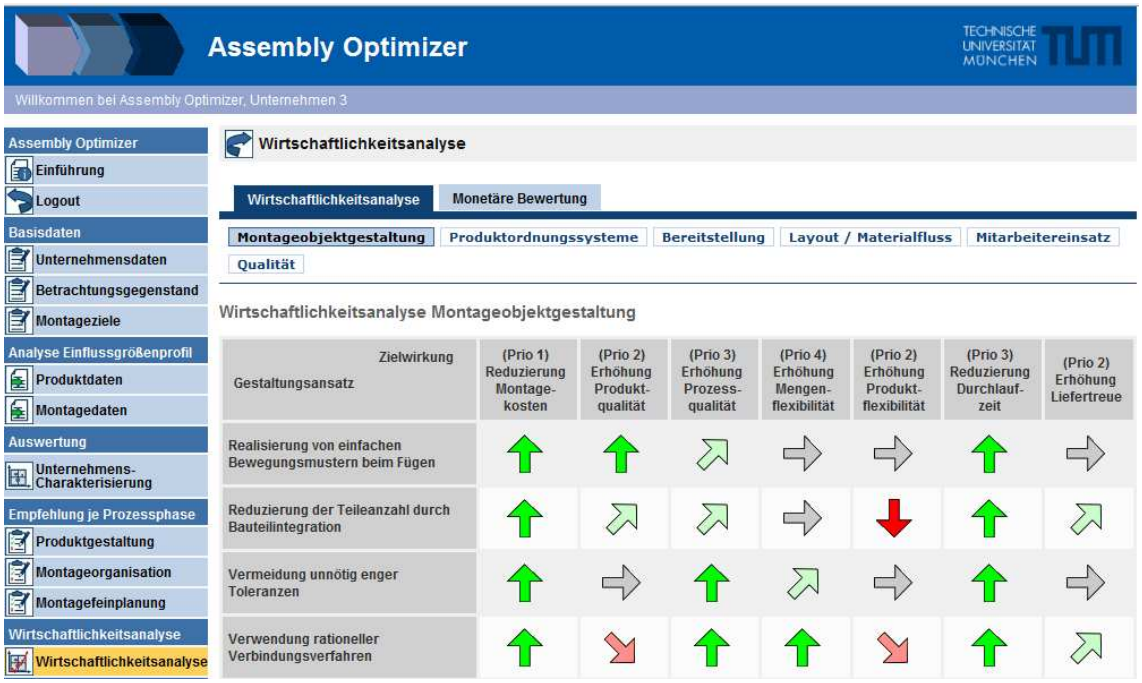


Abbildung 5-16: Screenshot - Wirtschaftlichkeitsanalyse für den Bereich Montageobjektgestaltung

Die Bewertung der Gestaltungsansätze im Sinne der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt mit Hilfe einer 5-stufigen Skala, die visuell durch fünf Pfeile abgebildet wird (vgl. Abb. 5-16). Wenn ein Gestaltungsansatz das Ziel sehr gut erfüllt, wird er bezüglich des Ziels mit einem grünen, nach oben zeigenden Pfeil bewertet. Nicht für die Zielerreichung geeignete Gestaltungsansätze werden durch rote, nach unten zeigende Pfeile abgebildet. Zwischenstufen werden mit schräg nach oben und schräg nach unten zeigenden Pfeilen realisiert. Wenn der Gestaltungsansatz keine oder kaum Wirkung auf das Ziel aufweist, wird er mit einem grauen, waagrechten Pfeil bewertet. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgt für die empfohlenen Gestaltungsansätze jedes der sechs Gestaltungsbereiche. Die jeweiligen Ergebnisse können entweder durch die „weiter“-Funktion oder durch das direkte Anklicken des jeweiligen Bereichs eingesehen werden.

Neben der zielorientierten Wirtschaftlichkeitsbewertung der Gestaltungsansätze erfolgt auf einem weiteren Dialogfeld die Empfehlung von Methoden zur monetären Bewertung der möglichen Gestaltungsansätze und Montagekonzepte.

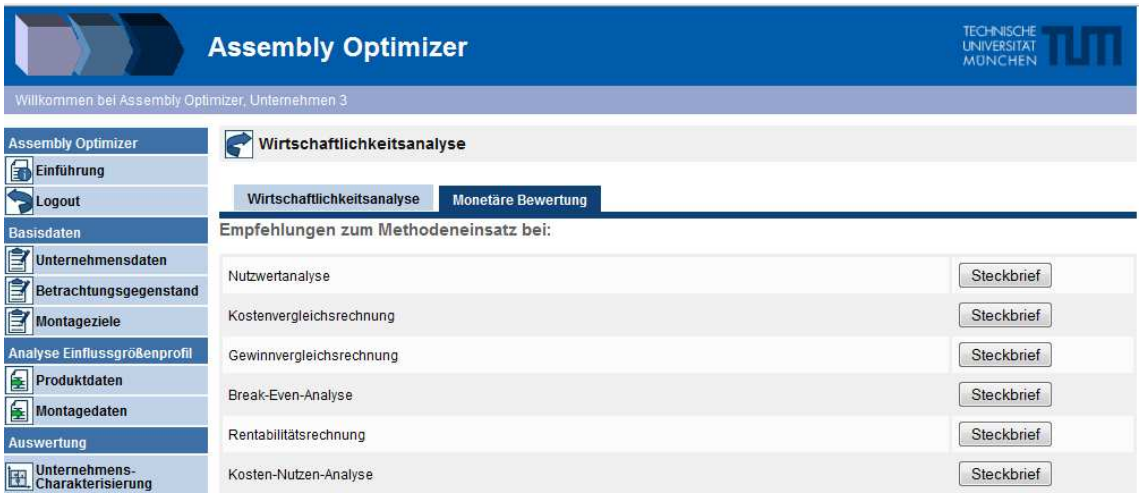


Abbildung 5-17: Screenshot - Empfehlungen für den Methodeneinsatz (Wirtschaftlichkeitsanalyse)

Die Methoden sind zudem jeweils mit Steckbriefen hinterlegt, die die wesentlichen Inhalte, die Vorgehensweise, die Ziele sowie die Vor- und Nachteile der Methoden kurz beschreiben.

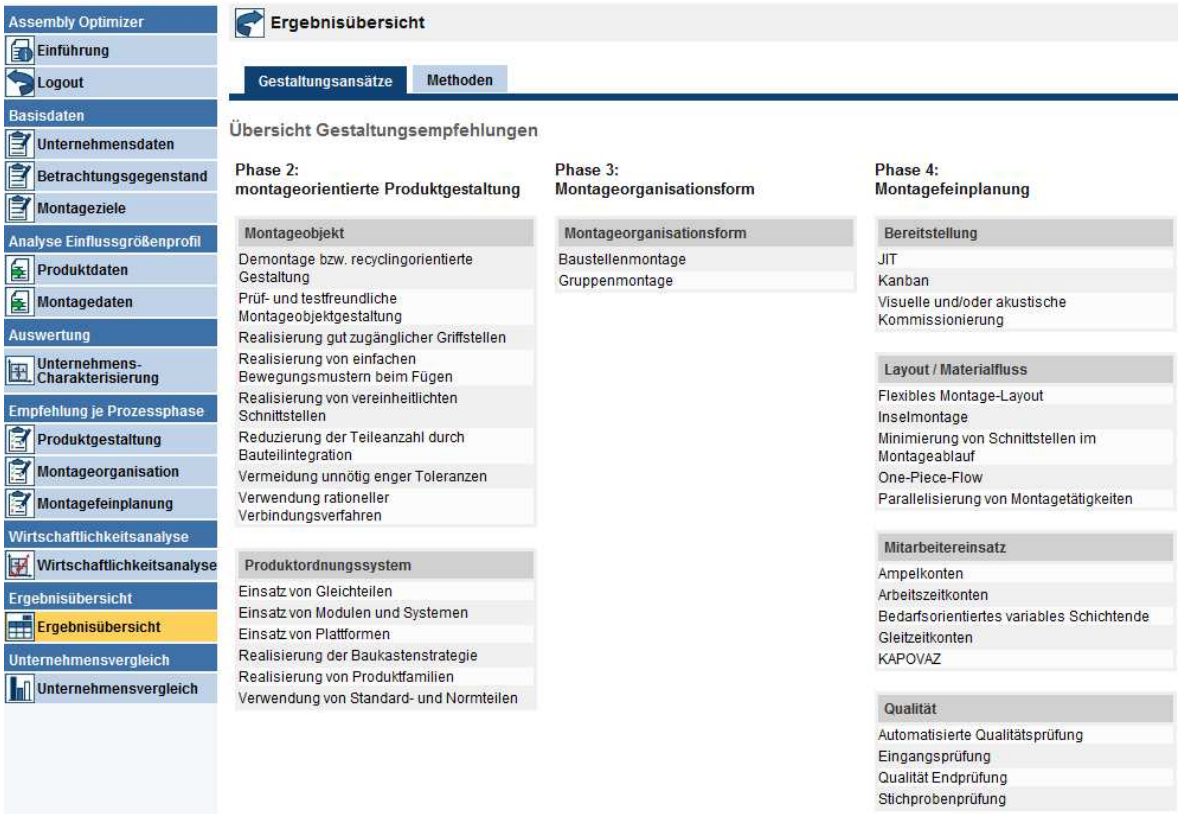


Abbildung 5-18: Screenshot - Übersicht der Gestaltungsempfehlungen je Gestaltungsbereich

Im Anschluss an die Wirtschaftlichkeitsanalyse kann sich der Anwender die Ergebnisse der Gestaltungsansätze und Methoden in einer Übersicht anzeigen lassen. Eine beispielhafte Übersicht zu den Gestaltungsansätzen eines ausgewählten Unternehmens ist in Abbildung 5-18 abgebildet. Die Übersicht kann durch den Anwender ausgedruckt werden. Vorteil der Gestaltungs- und Methodenübersicht ist die ganzheitliche und übersichtliche Darstellung der Empfehlungen. Sie zeigt auf einen Blick auf, in welchem Gestaltungsbereich welche Ansätze sinnvoll sind. Die Ergebnisübersicht ist das letzte Dialogfeld des IT-gestützten Montagekonfigurationsprozesses. Im nächsten Dialogfeld erfolgt der Unternehmensvergleich.

Der Unternehmensvergleich wurde unabhängig von der Umsetzung des Modells zur Montagekonfiguration auf Wunsch der am Projekt beteiligten Unternehmen realisiert. Die Ausgestaltung des Unternehmensvergleichs erfolgte in Diskussion mit den Experten der Unternehmen. Ziel des Unternehmensvergleichs ist die strukturierte Erfassung erfolgreicher Gestaltungsansätze und Methoden von Unternehmen. Strukturell orientiert sich die Datenerfassung an den Gestaltungsbereichen des Montagekonfigurationsprozesses. Die erfassten Ansätze und Methoden werden zur Realisierung eines Unternehmensvergleichs den weiteren Anwenderunternehmen zur Verfügung gestellt. Dadurch wurde ein dynamisch wachsendes Tool geschaffen, das auch zukünftig dazu beiträgt, Wissen aus der Praxis strukturiert zu erfassen und im Sinne eines Wissensaustauschs weiterzugeben. Im Rahmen des Unternehmensvergleichs werden die Unternehmen aufgefordert, je Gestaltungsbereich ihre erfolgreich realisierten Gestaltungsansätze und Methoden anzugeben und die Wirkungen der Konzepte zu beschreiben. Dazu werden den Anwendern zwei Erfassungsmöglichkeiten vorgegeben. Die Erfassung kann in einem Freitextfeld erfolgen, in dem ohne Führung erfolgreiche Gestaltungsansätze und Methoden sowie deren Erfolgswirkungen im Unternehmen ausformuliert werden können. Zudem werden dem Anwender Gestaltungsansätze und Methoden in Auswahlfeldern zur Verfügung gestellt. Die beiden Möglichkeiten zur Erfassung der unternehmensindividuellen Daten je Gestaltungsbereich sind in Abbildung 5-19 am Beispiel der Montageobjektgestaltung dargestellt.

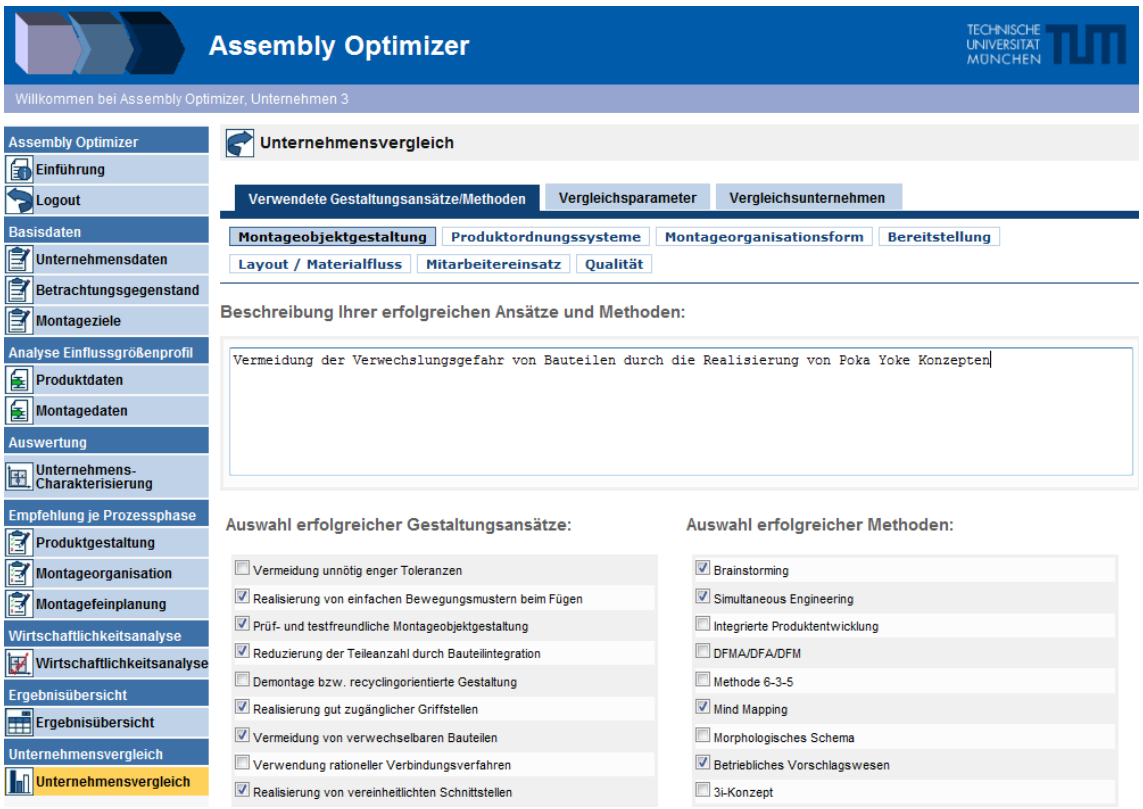


Abbildung 5-19: Screenshot - Eingabe erfolgreicher Gestaltungsansätze und Methoden beim Unternehmensvergleich

Im Anschluss an die Eingabe der erfolgreichen Gestaltungsansätze und Methoden des Unternehmens kann der Anwender im nächsten Schritt Vergleichsparameter, die zum Unternehmensvergleich herangezogen werden sollen, auswählen. Dazu wurden Dialogfelder ausgestaltet, in denen die gewünschten Rahmenbedingungen sowie die Einflussgrößen auswählbar sind. Im in Abbildung 5-20 aufgezeigten Beispiel wurde als Betrachtungsjahr 2008 gewählt. Weitere Vergleichsparameter, wie beispielsweise die Branche wurden im Beispiel nicht angegeben. In Abhängigkeit von den gewählten Vergleichsparametern wird oben rechts im Dialogfeld die Anzahl der Vergleichsunternehmen mit dem gesuchten Profil gelb markiert angezeigt (Anzahl der Treffer). Im Beispiel konnten 3 Treffer für das Betrachtungsjahr 2008 gefunden werden. Wenn die Anzahl der Treffer als zu gering empfunden wird, kann der Filter durch den Button „Filter zurücksetzen“ zurückgesetzt und eine neue Auswahl getroffen werden. Im Anschluss an die Auswahl der Vergleichsparameter kann sich der Anwender über den Button „Vergleichsunternehmen anzeigen“ die Angaben der Unternehmen anzeigen lassen.

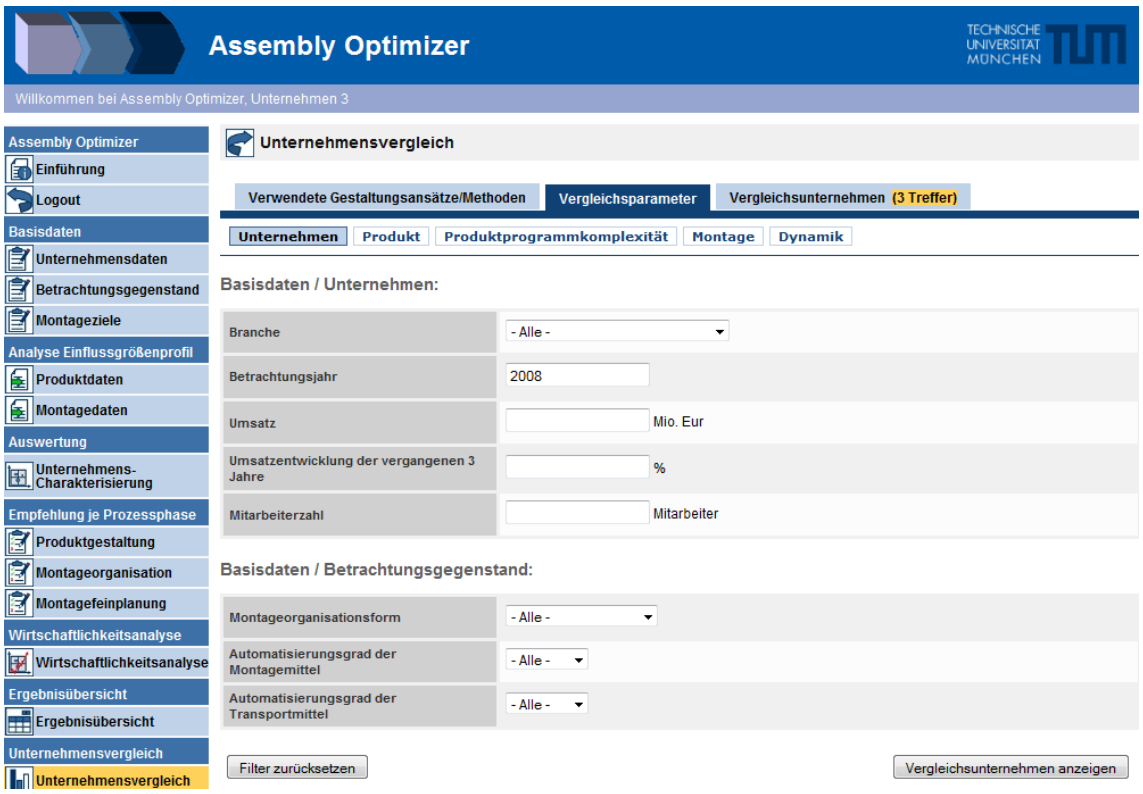


Abbildung 5-20: Screenshot - Eingabe der Vergleichsparameter

Bevor die Unternehmensangaben im Detail aufgezeigt werden, wird ein Dialogfeld mit einer Übersicht der Verteilung der Antworten des Einflussgrößenprofils der Vergleichsunternehmen aufgezeigt (vgl. Abb. 5-21). Diese Übersicht unterstützt den Anwender bei der Konkretisierung der Vergleichsparameter und es wird aufgezeigt, wo die Unterschiede zum eigenen Unternehmen liegen. Die Einteilung der Vergleichgrößen basiert auf den Eingaben zur Analyse des Einflussgrößenprofils. Aussagekräftige Ergebnisse werden erreicht, wenn die Einflussgrößen des eigenen Unternehmens größtmöglich mit den Größen des Vergleichsunternehmens übereinstimmen. Auf Basis der Übersicht kann der Anwender entscheiden, ob die Vergleichparameter konkretisiert werden müssen, um aussagekräftige Ergebnisse für das eigene Unternehmen angezeigt zu bekommen. Sobald der Anwender mit der Auswahl und Einflussgrößen der Vergleichsunternehmen einverstanden ist, kann er sich im nächsten Schritt die Konzepte der bereits eingetragenen Unternehmen anzeigen lassen. Die Anzeige der erfolgreichen Gestaltungsansätze und Methoden erfolgt in Anlehnung an die Struktur der Phasen des Montagekonfigurationsprozesses.

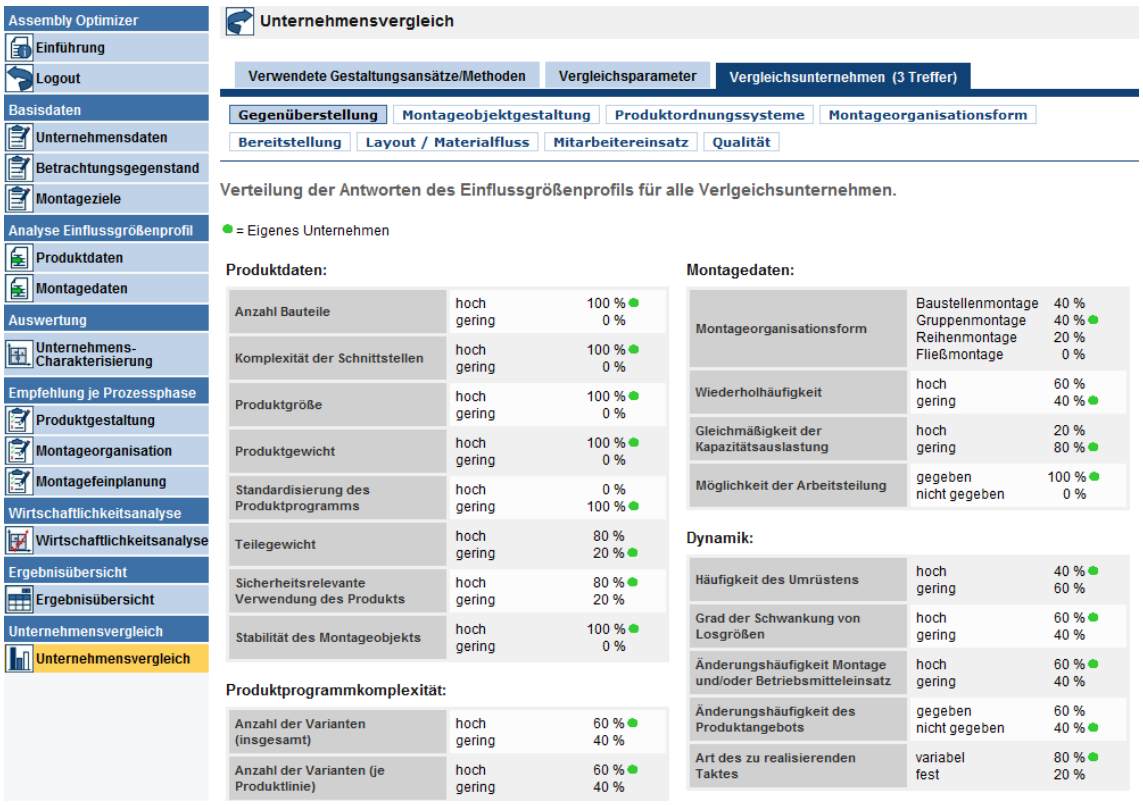


Abbildung 5-21: Screenshot - Übersicht Verteilung der vorliegenden Einflussgrößenprofile

In Abbildung 5-22 ist am Beispiel der Bereitstellungsgestaltung und neun Vergleichsunternehmen ein Dialogfeld zum Unternehmensvergleich dargestellt.

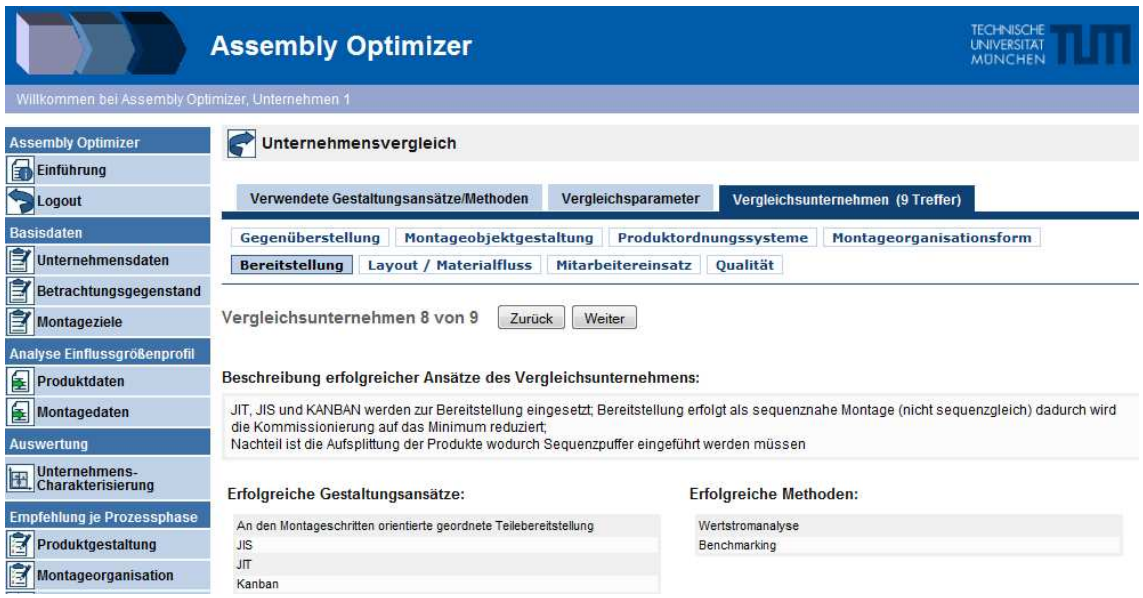


Abbildung 5-22: Screenshot - Beispiel Unternehmensvergleich

Wie am Beispiel aufgezeigt, kann sich der Anwender über „zurück-“ und „weiter-“Buttons durch die Vergleichsunternehmen navigieren. Die Einsicht der Angaben zu den Gestaltungsbereichen erfolgt direkt über das Anklicken der jeweiligen Buttons.

5.3 Beispielhafte Anwendung

Nachfolgend wird das IT-Tool am Praxisbeispiel angewendet und getestet. Da dabei vertrauliche Daten eingetragen werden, erfolgt der Praxistest anonymisiert. Das Testunternehmen ist der Branche Automobil zuzuordnen. Das Betrachtungsjahr ist 2008 und in diesem Jahr wurde mit etwa 3800 Mitarbeitern ein Umsatz von etwa 150 Mio. Euro erwirtschaftet. Die Umsatzentwicklung innerhalb der letzten drei Jahre lag bei 1 Prozent. Die im Augenblick realisierte Montageorganisationsform ist Gruppenmontage und sowohl der Automatisierungsgrad der Montagemittel als auch der Transportmittel liegt bei 20 bis 40 Prozent. Von den sieben Zielen, die mit der Montage verfolgt werden, wurden alle, bis auf die Steigerung der Mengenflexibilität mit Prio 1 bewertet. Die Steigerung der Mengenflexibilität wurde mit Prio 2 beurteilt.

Die produktbezogenen Einflussgrößen sind folgendermaßen gekennzeichnet: Die Anzahl der Bauteile, die Komplexität der Schnittstellen, die Produktgröße, das Produktgewicht, der Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter, das Teilegewicht sowie die sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts sind jeweils gering. Die Stabilität des Montageobjekts ist hoch. Die Anzahl der Varianten insgesamt und je Produktlinie des Unternehmens ist hoch, wobei jedoch die Anzahl der Produktlinien gering ist. Der Standardisierungsgrad des Produktprogramms ist gering und die Losgröße eines Fertigungsauftrages ist hoch. Im Bereich der Erfassung der Montagedaten wurden folgende Angaben gemacht: Die Montageorganisationsform des Betrachtungsbereichs ist Gruppenmontage, die Wiederholhäufigkeit ist hoch und die Gleichmäßigkeit der Kapazitätsauslastung ist gering. Eine Möglichkeit zur Arbeitsteilung ist nicht gegeben. Die Häufigkeit des Umrüstens ist gering, wobei der Grad der Schwankung von Losgrößen hoch ist. Die langfristige Änderungshäufigkeit in der Montage ist gering und die des Produktangebots ist hoch. Der zu realisierende Takt ist variabel.

Die Empfehlungen zur Montageobjekt- und Produktordnungssystemgestaltung sind in Abbildung 5-23 als Screenshots des IT-Tools gegenübergestellt. Die hohe Produktprogrammkomplexität führt dazu, dass sowohl Ansätze zur Vereinfachung der Montageaufgabe als auch zur Vereinfachung des Produktordnungssystems empfohlen werden.

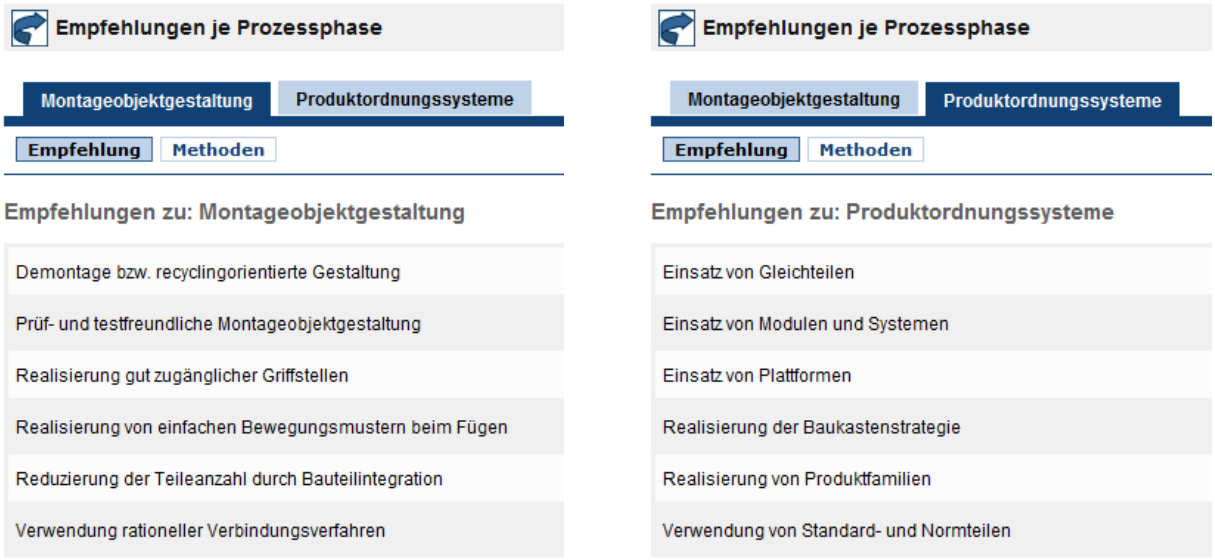


Abbildung 5-23: IT-Tool-Test - Ergebnisse Gestaltungsempfehlungen zur Produktgestaltung

Die Empfehlungen zum Methodeneinsatz sind in Abbildung 5-24 für die Montageobjekt- und Produktordnungssystemgestaltung dargestellt. Im Bereich der Montageobjektgestaltung sind dabei vor allem Methoden sinnvoll, die die Kreativität der Mitarbeiter steigern. Beispiele dafür sind der Einsatz eines morphologischen Schemas oder Brainstorming. Zudem werden Methoden empfohlen, die die Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitern unterschiedlicher Bereiche intensivieren, wie beispielsweise die Integrierte Produktentwicklung oder der Einsatz eines montageorientierten Konstruktionskatalogs. Im Bereich der Produktordnungssystemgestaltung werden vom IT-Tool Methoden empfohlen, mit deren Hilfe die Produktstruktur analysiert und darauf aufbauend optimiert werden kann. Dazu sind Methoden, wie beispielsweise die Analyse der funktionalen Zusammensetzung oder der Einsatz eines Variantenbaums geeignet.

Abbildung 5-24: IT-Tool-Test - Ergebnisse Methodeneinsatz zur Produktgestaltung

Als Empfehlung für die Montageorganisationsform des Betrachtungsbereichs wird die Gruppenmontage für das Unternehmen ausgegeben (vgl. Abb. 5-25). Das Unternehmen hat die Montage bereits als Gruppenmontage ausgestaltet und hat somit die geeignete Montageorganisationsform für sich gewählt.

Abbildung 5-25: IT-Tool-Test - Ergebnisse Auswahl der Montageorganisationsform

Die Ergebnisse der Gestaltungsempfehlungen in den Bereichen Bereitstellung und Layout/Materialfluss sind in Abbildung 5-26 dargestellt. Die Empfehlungen wurden dabei für die Montageorganisationsform der Gruppenmontage angefordert. Im Bereich der Bereitstellung werden Gestaltungsansätze empfohlen, die flexibel auf die hohe Dynamik reagieren können, wie beispielsweise Kanban. Aufgrund der hohen Produktprogrammkomplexität werden zudem Ansätze zur Kommissionierungsunterstützung befürwortet. Im Bereich der Materialflussgestaltung werden insbesondere Empfehlungen gegeben, die die Mengen- und Produktflexibilität unterstützen.

Abbildung 5-26: IT-Tool-Test - Ergebnisse Empfehlungen zur Bereitstellungs- und Materialflussgestaltung

Das Ergebnis der Bereiche Bereitstellung und Layout ist auf die hohe Variantenvielfalt des Produktprogramms und die hohe Dynamik in der Montage des Unternehmens zurückzuführen.

Im Bereich der Mitarbeitereinsatzgestaltung werden für die Gruppenmontage Ansätze empfohlen, die einen flexiblen Mitarbeitereinsatz unterstützen. Vor allem die Realisierung eines bedarfsorientierten variablen Schichtendes sowie KAPOVAZ eignen sich dazu. Zur qualitätsorientierten Gestaltung werden aufgrund der hohen Sicherheitsrelevanz im Automobilbereich Empfehlungen gegeben, die die Qualität des Produkts sicherstellen. Dazu sind beispielsweise die 100%-Prüfung sowie der Einsatz von Quality Gates sinnvoll.

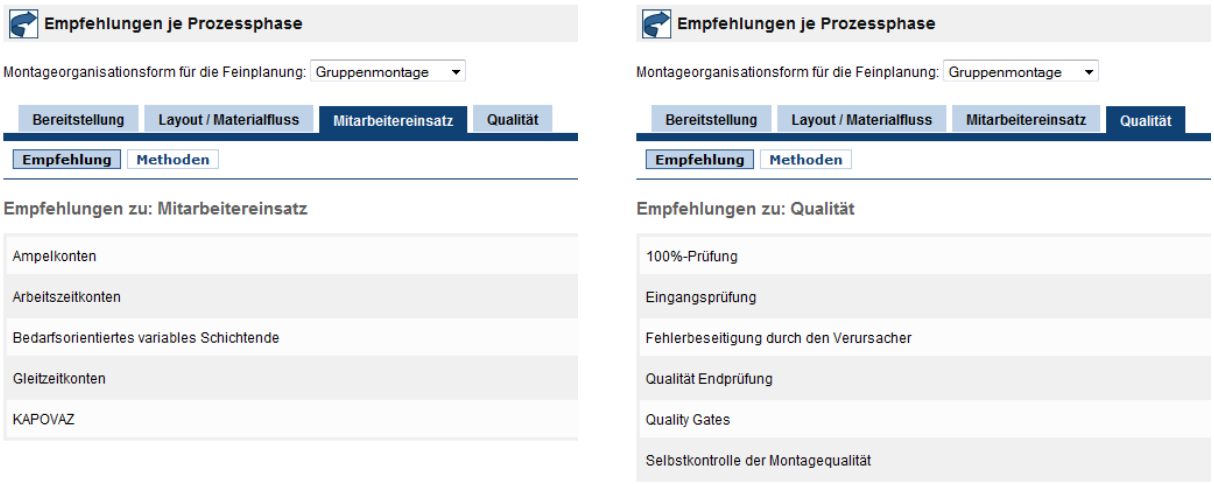


Abbildung 5-27: IT-Tool-Test - Ergebnisse Empfehlungen zur Mitarbeitereinsatz- und qualitätsorientierten Gestaltung

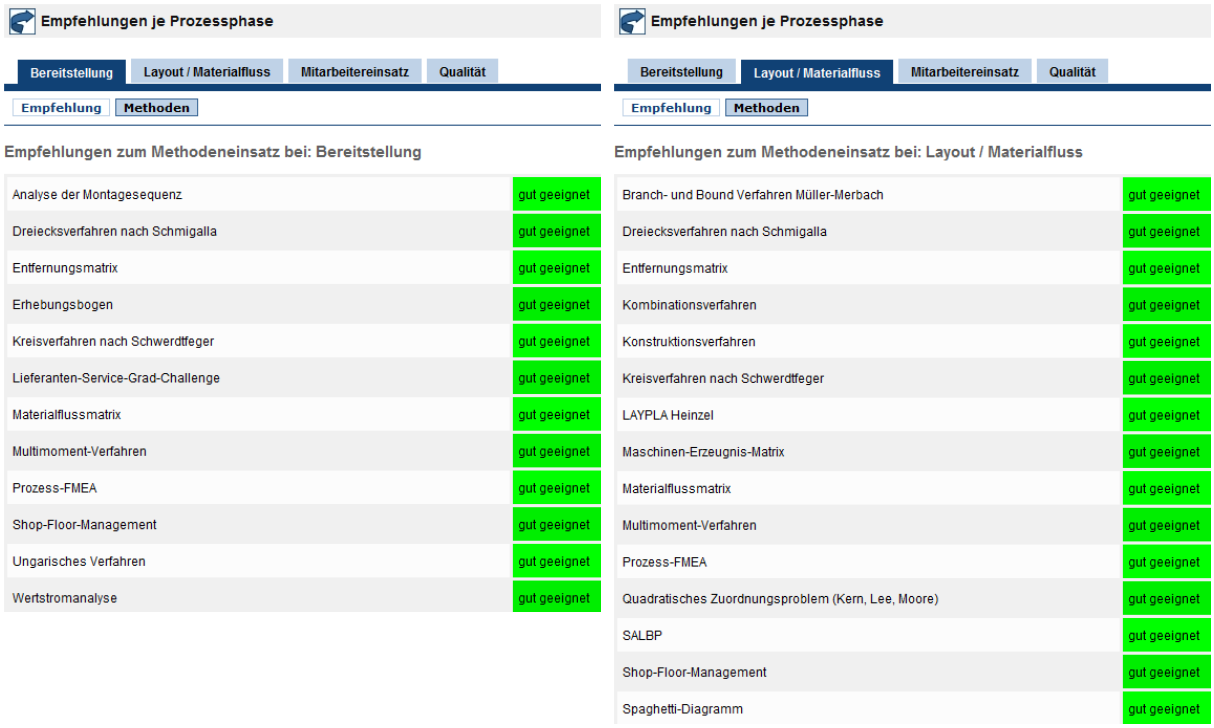


Abbildung 5-28: IT-Tool-Test - Ergebnisse Methodeneinsatz zur Bereitstellungs- und Materialflussgestaltung

Der Methodeneinsatz im Bereich der Montagefeinplanung ist am Beispiel der Bereitstellungsgestaltung sowie der Materialflussgestaltung in Abbildung 5-28 dargestellt. Der Methodeneinsatz konzentriert sich auf die Erfassung und Optimierung der Materialströme im Unternehmen sowie vom Lieferanten zum Unternehmen. Mit Hilfe der Methoden ist es dem Anwender möglich, die geeigneten Bereitstellungs- und Materialflusskonzepte auszuwählen und zu realisieren. In Abbildung 5-29 ist ein Auszug der Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Gestaltungsansätze der Montageobjektgestaltung dargestellt. Wie die Abbildung zeigt, sind die vom Unternehmen eingegebenen jeweiligen Zielprioritäten visualisiert. Sie bilden die Basis bei der Entscheidung für einen oder mehrere Gestaltungsansätze. Am Beispiel der Bauteilintegration kann das Prinzip der Wirtschaftlichkeitsbewertung gezeigt werden. Durch dieses Konzept können durch die Reduzierung des Montageaufwands die Montagekosten gesenkt werden, aber zudem wird durch die Verringerung von auswechselbaren Komponenten auch die Produktflexibilität reduziert. Der Anwender des IT-Tools muss demzufolge abwägen, welcher der Gestaltungsansätze am Besten bei der Realisierung der Summe seiner Ziele unterstützt.

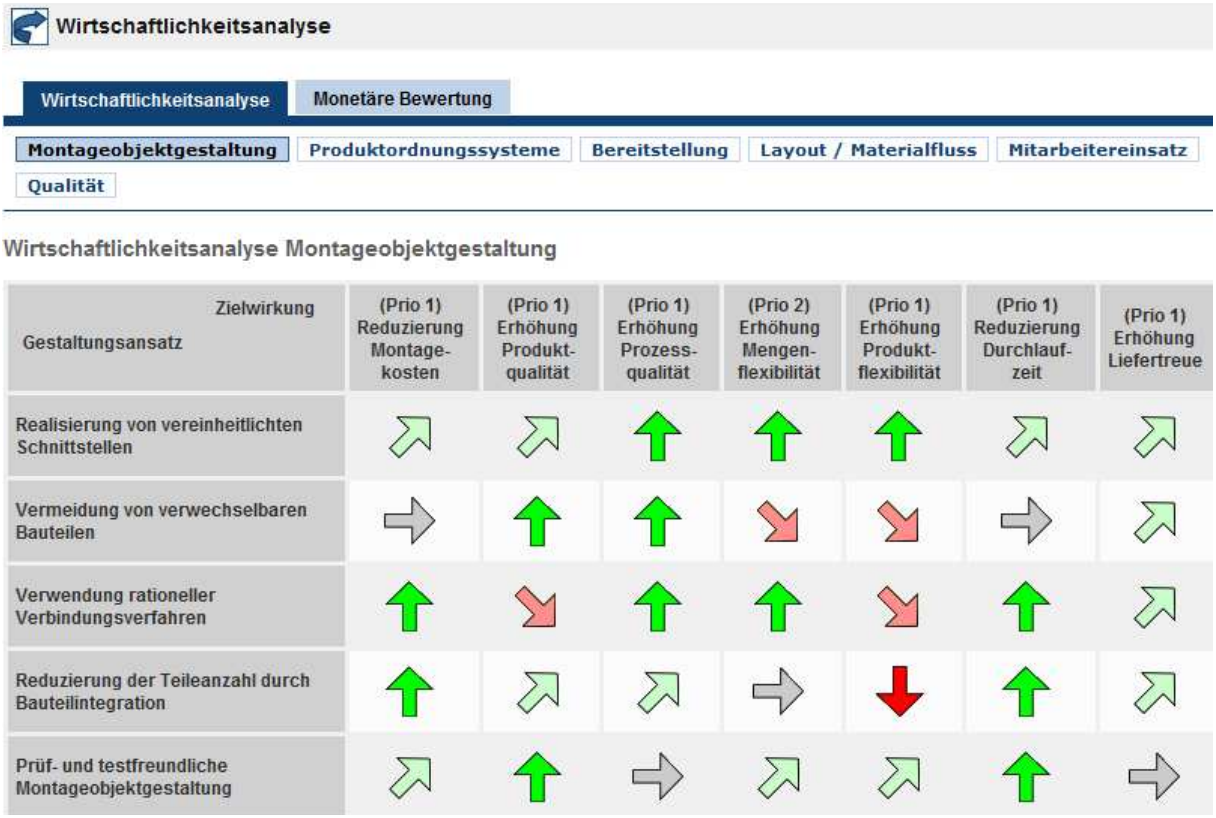


Abbildung 5-29: IT-Tool-Test - Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsanalyse Montageobjektgestaltung (Auszug)

Zur Durchführung des Unternehmensvergleichs wurden Unternehmen gefiltert, die ebenfalls in Gruppenmontage montieren. Als Ergebnis konnten 4 Unternehmen als geeignete Vergleichsunternehmen identifiziert werden.

Abbildung 5-30: IT-Tool-Test – Unternehmensvergleich

In Abbildung 5-30 ist für eines der Vergleichsunternehmen der Bereich der Mitarbeitereinsatzgestaltung beispielhaft dargestellt. Das Vergleichsunternehmen erreicht durch Schichtarbeit und die Realisierung eines flexiblen Mitarbeitereinsatzes eine hohe Produkt- und Mengenflexibilität. Ähnliche Empfehlungen wurden auch durch den im IT-Tool hinterlegten Ablauf gegeben, wodurch die Ergebnisse des IT-Tools zusätzlich plausibilisiert wurden.

Der Test am Praxisbeispiel zeigt, dass die im IT-Tool hinterlegten Algorithmen zu Ergebnissen führen, die den Unternehmen eine Hilfestellung bei der Gestaltung ihrer Produkte und ihrer Montage in Abhängigkeit von den Einflussgrößen geben. Die Ergebnisse sind plausibel und unterstützen den Anwender aktiv bei der Entscheidung für oder gegen Gestaltungsansätze und Methoden.

5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zum IT-Tool

Die Ergebnisse der Modellbildung wurden in einem benutzerfreundlichen IT-Tool umgesetzt. Zudem wurde das IT-Tool um die Funktionalität eines Unternehmensvergleichs ergänzt. Das Tool steht den Unternehmen frei zugänglich zur Verfügung und unterstützt den Anwender bei der Auswahl geeigneter Gestaltungsansätze und Methoden entlang des Montagekonfigurationsprozesses. Die Vorgehensweise des IT-Tools basiert auf den Erkenntnissen der Modellbildung. Die Empfehlungen werden demzufolge auf Basis der Rahmenbedingungen und Einflussgrößen der Unternehmen ermittelt. Auch der Unternehmensvergleich basiert auf den Einflussgrößen der Unternehmen. Die Vergleichsunternehmen werden durch die Auswahl der gewünschten Einflussgrößenprofile ermittelt. Durch die freie Erfassung von erfolgreichen Gestaltungsansätzen und Methoden im Rahmen des Unternehmensvergleichs wurde ein dynamisch wachsendes Instrument zur Verbesserung der Montage geschaffen. Die Anwendung des IT-Tools unterstützt Unternehmen dabei, die unternehmensspezifischen Montageziele zu erreichen. Sowohl im Bereich der Kosten als auch in den Bereichen Flexibilität und Qualität können positive Effekte erzielt werden. Durch die Realisierung der Montagekonzepte können zudem Durchlaufzeiten reduziert und die Liefertreue erhöht werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Einflussgrößen und Probleme der Kleinserienmontage (In Anlehnung an Eversheim (1981)) 15
Abbildung 1-2: Erfordernisse der Kleinserienmontagegestaltung (In Anlehnung an Brecher/Schapp (2009) 16
Abbildung 1-3: Zielsetzung des Forschungsprojekts 17
Abbildung 1-4: Lösungsweg des Forschungsvorhabens 18
Abbildung 1-5: Inhalte des Arbeitspakts 1 19
Abbildung 1-6: Inhalte des Arbeitspakts 2 20
Abbildung 1-7: Inhalte des Arbeitspakts 3 21
Abbildung 1-8: Inhalte des Arbeitspakts 4 22
Abbildung 1-9: Inhalte des Arbeitspakts 5 23
Abbildung 1-10: Transfermaßnahmen A bis C 24
Abbildung 1-11: Transfermaßnahmen D bis G 25
Abbildung 1-12: Literaturauswertung zum Themengebiet Montagesysteme .. 26
Abbildung 1-13: Analyse von 15 Fallstudien 27
Abbildung 1-14: Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses 28
Abbildung 1-15: Charakterisierung der Expertengespräche 29
Abbildung 2-1: Quantitative Mittelstandsdefinition (In Anlehnung an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2007)) 31
Abbildung 2-2: Montage als Teilsystem der Produktion (In Anlehnung an Miese (1973), S. 13) 32
Abbildung 2-3: Haupt- und Subfunktionen der Montage (In Anlehnung an Bullinger (1986), S. 275) 33
Abbildung 2-4: Fertigungstypen in Abhängigkeit von Wiederholhäufigkeit und produzierter Jahresstückzahl (Eversheim (1989), S. 11) 34
Abbildung 2-5: Abgrenzung der Einzel- und Kleinserienfertigung von der Massenfertigung mithilfe ausgewählter Kenngrößen (In Anlehnung an Schimke/Hoeschen (1977), S. 136 ff) 37
Abbildung 2-6: Merkmalskette der Einzel- und Kleinserienmontage (In Anlehnung an Schimke (1991), S. 34) 38
Abbildung 2-7: Kennzeichen der Auftragsabwicklung bei Einzel- und Kleinserienmontage (In Anlehnung an Büdenbender 1991, S. 51 u. 55 f) 39

Abbildung 2-8: Aus den Kennzeichen der Kleinserienmontage und komplexer Produkte resultierende Einflussgrößen 41
Abbildung 2-9: Inhaltsspezifische Zuordnung der Vorgehensweisen zur Montageplanung 42
Abbildung 2-10: Montageplanungsprozess (In Anlehnung an Bullinger (1986), S. 13) 43
Abbildung 2-11: Montageplanungsprozess nach Eversheim (In Anlehnung an Eversheim (1989), S. 140 f) 47
Abbildung 2-12: Projektmanagementalternativen (In Anlehnung an Balve/Rally (2001), S. 19) 51
Abbildung 2-13: Montageplanungsprozess nach Jonas 53
Abbildung 2-14: Planungs- und Steuerungssysteme nach Montagearten (In Anlehnung an Chang 1999, S. 20) 54
Abbildung 2-15: Montageplanungsprozess (In Anlehnung an Chang (1999)) 55
Abbildung 2-16: Defizite der bestehenden Vorgehensweisen zur Montageplanung 56
Abbildung 2-17: Anforderungsanalyse bestehender Vorgehensweisen zur Montageplanung 57
Abbildung 2-18: Produktstruktur 58
Abbildung 2-19: Strategien und Wirkungen von Produktordnungssystemen (Wildemann (2010b), S. 72) 61
Abbildung 2-20: Zielwirkungen der Ansätze zur Montageobjektgestaltung 64
Abbildung 2-21: Einordnung der Methoden zur Montageobjektgestaltung 69
Abbildung 2-22: Einordnung der Montageorganisationsformen (In Anlehnung an Eversheim 1989 und Warnecke 1993) 71
Abbildung 2-23: Prinzip des U-Layouts 76
Abbildung 2-24: Flexibilitätswirkungen der Ansätze zur Montageobjektgestaltung 80
Abbildung 2-25: Kennzeichen des Benchmarkings (Wildemann (2010l), S. 43) 83
Abbildung 2-26: Einteilung der Methoden zur Montagegestaltung nach Verantwortungsbereich 86
Abbildung 2-27: Klassische und erweiterte Wirtschaftlichkeitsbewertung (In Anlehnung an Niggl/Edfelder/Kraupa (2000), S. 120) 87

Abbildung 2-28: Argumentenbilanz (In Anlehnung an Wildemann (1987), S. 66) 88
Abbildung 2-29: Entscheidungsprozess zur Wirtschaftlichkeitsbewertung neuer Montagekonzepte 90
Abbildung 3-1: Charakterisierung der Fallstudien 95
Abbildung 3-2: Übersicht der Fallstudieninhalte 96
Abbildung 3-3: Expertengespräche zur Anforderungsanalyse 104
Abbildung 3-4: Interviewleitfaden und Ziele der Expertenbefragung 105
Abbildung 3-5: Fragebogenaufbau und Ziele der Fragebogenaktion 106
Abbildung 3-6: Umsatz und Mitarbeiteranzahl der Rückläufer der Fragebogenaktion 106
Abbildung 3-7: Branchenverteilung der Rückläufer der Fragebogenaktion 107
Abbildung 3-8: Montageorganisationsform und Fertigungsart der Rückläufer der Fragebogenaktion 108
Abbildung 3-9: Gestaltungsbereiche 110
Abbildung 3-10: Gestaltungsansätze und Methoden zur Produktgestaltung 110
Abbildung 3-11: Gestaltungsansätze und Methoden zur Montagegestaltung 111
Abbildung 3-12: Ziele der Produkt- und Montagegestaltung 111
Abbildung 3-13: Charakterisierung der Produkte 112
Abbildung 3-14: Ausrichtung der Montage 113
Abbildung 3-15: Die Montagetätigkeiten beeinträchtigende Rahmenbedingungen 114
Abbildung 3-16: Beurteilung des Montagekonzepts gegenüber Wettbewerber 115
Abbildung 3-17: Ziele der Montagegestaltung 116
Abbildung 3-18: Zufriedenheit mit der Ausgestaltung des Montageprozesses 117
Abbildung 3-19: SWOT-Analyse der Montage von Experten aus Großunternehmen 118
Abbildung 3-20: SWOT-Analyse der Montage von Experten aus mittelständischen Unternehmen 119
Abbildung 3-21: Impulse zur Anpassung des Montageprozesses 120

Abbildung 3-22: Relevante Kriterien im Rahmen der Montageplanung 121
Abbildung 3-23: Montageplanung und -bewertung..... 122
Abbildung 3-24: Zielgrößen bei der Bewertung von Montagekonzepten 123
Abbildung 3-25: Probleme bei der Bewertung von Montagekonzepten 124
Abbildung 3-26: Anwendungsgrad und Bedeutung von Methoden zur Montageplanung 125
Abbildung 3-27: Anwendungsgrad und Bedeutung von Methoden zur monetären Bewertung von Montagekonzepten 126
Abbildung 3-28: Zukünftige Leistungserstellung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit 126
Abbildung 3-29: Anforderungen an einen Montagekonfigurationsprozess.... 127
Abbildung 3-30: Bei der Montagekonfiguration zu berücksichtigende Ziele 128
Abbildung 3-31: Zusammenfassung der Anforderungen an die Montagekonzeptbewertung..... 128
Abbildung 3-32: Mit der Montagekonfiguration verfolgte Ziele 129
Abbildung 3-33: Gestaltungsansätze zur Produktgestaltung und Montagefeinplanung..... 130
Abbildung 3-34: Methoden und Instrumente zur Produktgestaltung und Montagefeinplanung..... 131
Abbildung 3-35: Anforderungen an einen Konfigurationsprozess für die Kleinserienmontage 132
Abbildung 4-1: Fünfphasiger Montagekonfigurationsprozess 133
Abbildung 4-2: Beispielhafte Darstellung der Einflussgrößen auf den Montagekonfigurationsprozess 136
Abbildung 4-3: Modell zur Konfiguration der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei KMU 137
Abbildung 4-4: Kategorisierung der Einflussgrößen..... 138
Abbildung 4-5: Produktkomplexität - Definition der Einflussgrößen 139
Abbildung 4-6: Produktprogrammkomplexität - Definition der Einflussgrößen..... 140
Abbildung 4-7: Dynamik - Definition der Einflussgrößen..... 141
Abbildung 4-8: Montagekomplexität - Definition der Einflussgrößen..... 142
Abbildung 4-9: Vorgehensweise bei der Einflussgrößenanalyse 142

Abbildung 4-10: Korrelationsanalysen zur Zuordnung der Einflussgrößen (Auszug für den Bereich Produktordnungssystem) 143
Abbildung 4-11: Montageobjektgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 144
Abbildung 4-12: Produktordnungssystemgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 145
Abbildung 4-13: Montageorganisationsformauswahl - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 146
Abbildung 4-14: Bereitstellungsgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 147
Abbildung 4-15: Layout- und Materialflussgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 148
Abbildung 4-16: Mitarbeitereinsatzgestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 149
Abbildung 4-17: Qualitätsorientierte Gestaltung - Einflussgrößen und ihre Parametrisierung 150
Abbildung 4-18: Inhalte je Phase und Gestaltungsbereich des Montagekonfigurationsprozesses 151
Abbildung 4-19: Aufbau der Flussdiagramme je Gestaltungsbereich 152
Abbildung 4-20: Entscheidungspunkt in Flussdiagramm Produktordnungs-systemgestaltung (Auszug) 152
Abbildung 4-21: Zusammenhang zwischen Gestaltungsansätzen und Methodenempfehlung 153
Abbildung 4-22: Ablaufdiagramm des Montagekonfigurationsprozesses (Auszug) 154
Abbildung 4-23: Methoden und Gestaltungsansätze zur Montageobjektgestaltung 156
Abbildung 4-24: Methoden und Gestaltungsansätze zur Produktordnungs-systemgestaltung 157
Abbildung 4-25: Gestaltungsansätze der Montageorganisationsform 157
Abbildung 4-26: Methoden und Gestaltungsansätze Bereitstellungs-gestaltung 158
Abbildung 4-27: Methoden und Gestaltungsansätze zur Materialfluss- und Layoutgestaltung 159

Abbildung 4-28: Methoden und Gestaltungsansätze zur Mitarbeiter-einsatzgestaltung 160
Abbildung 4-29: Methoden und Gestaltungsansätze zur qualitäts-orientierten Gestaltung 161
Abbildung 4-30: Bewertungskonzept für Gestaltungsansätze 161
Abbildung 4-31: Gestaltungsansätze - Bewertungskonzept im Detail (Auszug) 162
Abbildung 4-32: Methoden - Bewertungskonzept im Detail (Auszug) 163
Abbildung 4-33: Einordnung der Methoden zur Wirtschaftlichkeits-bewertung 163
Abbildung 4-34: Fünfstufige Vorgehensweise bei der Wirtschaftlichkeits-bewertung 164
Abbildung 4-35: Expertengespräche zur Modellüberprüfung 165
Abbildung 4-36: Agenda: Expertenbefragung zur Modellüberprüfung (Beispiel) 166
Abbildung 4-37: Abfrage erfolgreicher Gestaltungsansätze in Experten-gesprächen (Auszug) 167
Abbildung 4-38: Vorstellung der IT-Tool-Konzeption (Auszug) 167
Abbildung 4-39: Vorgehensweise bei der Expertenbefragung zur Modell-überprüfung 168
Abbildung 4-40: Zusammenfassung der Modellbildung 169
Abbildung 5-1: Struktur des IT-Tools 170
Abbildung 5-2: Anwendungsbereiche und Nutzen des IT-Tools 171
Abbildung 5-3: Menüführung des IT-Tools 172
Abbildung 5-4: Screenshot - Einführung 173
Abbildung 5-5: Screenshot - Unternehmensdaten eingeben 174
Abbildung 5-6: Screenshot - Daten des Betrachtungsgegenstands eingeben 174
Abbildung 5-7: Screenshot - Montageziele eingeben 175
Abbildung 5-8: Screenshot Analyse Einflussgrößenprofil – Produktdaten eingeben 176
Abbildung 5-9: Screenshot Analyse Einflussgrößenprofil – Hilfefunktion 176
Abbildung 5-10: Screenshot - Unternehmenscharakterisierung 177

Abbildung 5-11: Screenshot - Gestaltungsempfehlungen zu Produktordnungssystemen 178
Abbildung 5-12: Beispiel eines Gestaltungsansatzsteckbriefes 178
Abbildung 5-13: Screenshot - Methodenempfehlungen zu Produktordnungssystemen 179
Abbildung 5-14: Beispiel eines Methodensteckbriefes 180
Abbildung 5-15: Screenshot - Gestaltungsempfehlung in Abhängigkeit von der Montageorganisationsform 181
Abbildung 5-16: Screenshot - Wirtschaftlichkeitsanalyse für den Bereich Montageobjektgestaltung 182
Abbildung 5-17: Screenshot - Empfehlungen für den Methodeneinsatz (Wirtschaftlichkeitsanalyse) 183
Abbildung 5-18: Screenshot - Übersicht der Gestaltungsempfehlungen je Gestaltungsbereich 183
Abbildung 5-19: Screenshot - Eingabe erfolgreicher Gestaltungsansätze und Methoden beim Unternehmensvergleich 185
Abbildung 5-20: Screenshot - Eingabe der Vergleichsparameter 186
Abbildung 5-21: Screenshot - Übersicht Verteilung der vorliegenden Einflussgrößenprofile 187
Abbildung 5-22: Screenshot - Beispiel Unternehmensvergleich 187
Abbildung 5-23: IT-Tool-Test - Ergebnisse Gestaltungsempfehlungen zur Produktgestaltung 189
Abbildung 5-24: IT-Tool-Test - Ergebnisse Methodeneinsatz zur Produktgestaltung 190
Abbildung 5-25: IT-Tool-Test - Ergebnisse Auswahl der Montageorganisationsform 190
Abbildung 5-26: IT-Tool-Test - Ergebnisse Empfehlungen zur Bereitstellungs- und Materialflussgestaltung 191
Abbildung 5-27: IT-Tool-Test - Ergebnisse Empfehlungen zur Mitarbeitereinsatz- und qualitätsorientierten Gestaltung 191
Abbildung 5-28: IT-Tool-Test - Ergebnisse Methodeneinsatz zur Bereitstellungs- und Materialflussgestaltung 192
Abbildung 5-29: IT-Tool-Test - Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsanalyse Montageobjektgestaltung (Auszug) 193
Abbildung 5-30: IT-Tool-Test – Unternehmensvergleich 193

Literaturverzeichnis

Adam, D. (1998): Produktions-Management, Wiesbaden 1998

Adam, D.; Johannwille, U. (1998): Die Komplexitätsfalle, in: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement, Wiesbaden 1998

Albers, W. (Hrsg.) (1982): Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft, Bd. 9, Stuttgart et al. 1982

Arnold, D.; Furmans, K. (2009): Materialfluss in Logistiksystemen, Heidelberg et al. 2009

Balve, P.; Rally, P. J. (2001): Integrative und marktorientierte Montageplanung, in: Westkämper, E. et al. (Hrsg.): Montageplanung – effizient und marktgerecht, Berlin et al. 2001, S. 11 - 33

Becker, H. P. (2009): Investition und Finanzierung - Grundlagen der betrieblichen Finanzwirtschaft, Wiesbaden 2009

Beutin, N. (2000): Kundennutzen in industriellen Geschäftsbeziehungen, zugl. Dissertation Univ. Mannheim, Wiesbaden 2000

Biegert, H. (1971): Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip, Stuttgart 1971

Blohm, H.; Lüder, K. (1995): Investition. Schwachstellenanalyse des Investitionsbereichs und der Investitionsrechnung, München 1995

Boothroyd, G.; Dewhurst, P. (1988): Product Design for Manufacture und Assembly, in: Manufacturing Engineering (1988) 4, S. 42 - 46

Brankamp, K.; Reents, H. (1975): Die Montage als Teil der Produktion, in: v. Brankamp, K. (Hrsg.): Handbuch der modernen Fertigung und Montage, München 1975

Brecher, Ch.; Schapp, L. (Hrsg.) (2009): Montagetechnik und -organisation - Strategien und Trends, Aachen 2009

Brödner, P.; Katter, W. (1999): Frischer Wind in der Fabrik – Spielregeln und Leitbilder von Veränderungsprozessen, Berlin et al. 1999

Bullinger, H.-J. (1986): Systematische Montageplanung – Handbuch für die Praxis, München et al. 1986

Büdenbender, W. (1991): Ganzheitliche Produktionsplanung und -steuerung, in: v. Hackstein, R. (Hrsg.): Forschung für die Praxis, Band 33, Berlin 1991

Chang, K.-W. (1999): Montagesystemplanung und -steuerung für die variantenreiche Serienmontage, Berlin 1999

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1990): DIN 6789, Dokumentationssystematik, Berlin 1990

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2003): DIN 8580, Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung, Berlin 2003

Drews, G.; Hillebrand, N. (2010): Lexikon der Projektmanagement-Methoden, Freiburg 2010

Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U. (2007): Kostengünstig entwickeln und konstruieren - Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung, Heidelberg 2007

Endörfer, A.; Sauerland, M.; Walch, D. (2007): Flexibilisierung von Mitarbeitern – Individuelle und organisatorische Faktoren, in: Günthner, W. (Hrsg.): Neue Wege in der Automobillogistik – Die Vision der Supra-Adaptivität, Berlin et al. 2007

Eversheim, W.; Witte, K.-W.; Peffekoven, K.-H. (1981): Montage richtig planen. Methoden und Hilfsmittel zur rationellen Gestaltung der Montage in Unternehmen mit Einzel- und Serienfertigung, Düsseldorf 1981

Eversheim, W. (1989): Organisation in der Produktionstechnik, Band 4, Fertigung und Montage, Düsseldorf 1989

Eversheim, W. (Hrsg.); Bochtler, W.; Laufenberg, L. (1995): Simultaneous Engineering. Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie, Berlin et al. 1995

Eversheim, W; Schenke, F.-B; Warnke, L. (1998): Komplexität im Unternehmen verringern und beherrschen - Optimale Gestaltung von Produkten und Produktionssystemen, in: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement, Wiesbaden 1998, S. 29 - 45

Firchau, N. L.; Franke, H.-J. (2002): Methoden zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung, in: Franke, H.-J.; Hesselbach, J.; Huch, B.; Firchau, N. (Hrsg.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, München et al. 2002, S. 52 - 86

Franke, H.-J.; Hesselbach, J.; Huch, B.; Firchau, N.L. (2002): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung, München et al. 2002

Götze, W. (2008): Investitionsrechnung - Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, Berlin et al. 2008

Grundig, C.-G. (2009): Fabrikplanung - Planungssystematik, Methoden, Anwendungen, München 2009.

Grunwald, S. (2001): Methode zur Anwednung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung, zugl. Dissertation TU München, München 2001.

Günthner, W. A.; Wilke, M.; Zäh, M. F. (2006): Produktion individualisierter Produkte, in: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte - Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion, Berlin et al. 2006

Hahn, D.; Laßmann, G. (1993): Produktionswirtschaft – Controlling industrieller Produktion, Heidelberg 1993

Haubrock, A.; Öhlschlegel-Haubrock, S. (2009): Personalmanagement, Stuttgart 2009

Hesse, S. (2006): Montagegerechte Produktgestaltung, in: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion, Berlin et al. 2006, S. 11 - 57

Heyde, W.; Laudel, G.; Plaschak, F.; Sabisch, H. (1991): Innovationen in Industrieunternehmen, Prozessen, Entscheidungen und Methoden, Wiesbaden 1991

Hoenow, G.; Meißner, T. (2009): Konstruktionspraxis im Maschinenbau: Vom Einzelteil zum Maschinendesign, München 2009

Hoffmeister, W. (2008): Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse – Eine entscheidungsorientierte Darstellung mit vielen Beispielen und Übungen, Berlin 2008

Institut für Mittelstandsforschung Bonn (Hrsg.) (2010): Schlüsselzahlen des Mittelstands in Deutschland 2006/2007: http://www.ifm-bonn.org/index.php?id=540; letzter Zugriff: 10.06.2010

Jaspersen, T. (1997): Investition: computergestützte Verfahren und Controlling im Investitionsprozess, München et al. 1997

Jonas, Ch. (2000): Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen, München 2000

Jung, S. (2010): Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2007: http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/WirtschaftStatistik/UnternehmenGewerbeanzeigen/Unternehmen20071__2010,property=file.pdf, letzter Zugriff: 23.06.2010

Kamiske, G. F.; Brauer, J.-P. (2008): Qualitätsmanagement von A bis Z, München 2008

Kern, W. (1974): Investitionsrechnung, Stuttgart 1974

Kleissl, J. (2004): Gestaltung von Produktordnungssystemen. Methoden zur Schaffung marktgerechter Produktprogramme, zugl. Dissertation TU München, München 2004

Klug, F. (2010): Logistikmanagement in der Automobilindustrie – Grundlagen der Logistik im Automobilbau, Heidelberg et al. 2010

Kohler, J. (2008): Wissenstransfer bei hoher Produkt- und Prozesskomplexität – Pilotierung, Rollout und Migration neuer Methoden am Beispiel der Automobilindustrie, zugl. Dissertation Universität Hohenheim, Wiesbaden 2008

Kohlhase, N. (1997): Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen - Strategien, Methoden, Instrumente, Düsseldorf 1997

Konold, P.; Reger, H. (2003): Praxis der Montagetechnik, Wiesbaden 2003

Köster, O. (1998): Strategische Disposition - Konzept zur Bewältigung des Span-nungsfeld Kundennähe, Komplexität und Effizienz im Leistungserstellungsprozess, Schesslitz 1998

Kruschwitz, L. (2003): Investitionsrechnung, München 2003

Kurz, U.; Hintzen,H.; Laufenberg, H. (2009): Konstruieren, Gestalten, Entwerfen – Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik, Wiesbaden 2009

Lödding, H. (2008): Verfahren der Fertigungssteuerung, Berlin et al. 2007

Lotter, B. (2006a): Manuelle Montage von Großgeräten, in: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion, Berlin et al. 2006, S. 173 - 192

Lotter, B. (2006b): Einführung, in: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion, Berlin et al. 2006, S. 1 - 9

Lotter, B. (2006c): Manuelle Montage von Kleingeräten, in: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion, Berlin et al. 2006, S. 127 - 172

Mai, Ch. (2003): Qualitätsmanagement, in: Bullinger, H.-J.; Warnecke, H. J.; Westkämper, E. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen, Berlin et al. 2003

Martens, J. (2003): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows, München 2003

Meyer, M.; Lehnerd, A. (1997): The Power of Product Platforms, New York 1997

Miese, M. (1973): Systematische Montageplanung in Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienfertigung, Aachen 1973

Miese, M. (1975): Rationalisierung der Montage, in: v. Brankamp, K. (Hrsg.): Handbuch der modernen Fertigung und Montage, München 1975

Niemann, G.; Winter, H.; Höhn, B.-R. (2005): Maschinenelemente - Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Berlin 2005

Niggl, M.; Edfelder, D.; Kraupa, M. (2000): Telearbeit bei der BMW Group – Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch flexibles Arbeiten, Berlin et al. 2000

Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.; Fiege, T.; Mühlenbruch, H. (2006): Materialbereitstellung in der Montage, in: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion, Berlin et al. 2006, S. 323 - 352

Peffekoven, K. H. (1982): Planung und Steuerung des Montageablaufs in Unternehmen der Einzel- und Serienfertigung, Aachen 1982

Piller, F. T.; Waringer, D. (1999): Modularisierung in der Automobilindustrie. neue Formen und Prinzipien, Aachen 1999

Reiss, M. (1993): Komplexitätsmanagement, in: WISU, Nr. 1/93, S. 54 - 59

Richter, M. (2006): Gestaltung der Montageorganisation, in: Lotter, B.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion, Berlin et al. 2006, S. 95 – 125

Sabisch, H.; Tintelnot, C. (1997): Integriertes Benchmarking für Produkte und Pro-duktentwicklungsprozesse, Berlin et al. 1997

Scheel, B.; Chilian, A. (2007): Schlanke Logistik- und Produktionsmethoden, in: Garcia Sanz, F. J.; Semmler, K.; Walther, J. (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz, Berlin et al. 2007, S. 299 - 322

Schierenbeck, H. (2003): Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre, München 2003

Schimke, E.-F.; Hoeschen, R.-D. (1977): Auswahl der geeigneten Organisationsform in der Montage, TZ für praktische Metallbearbeitung, 71. Jahrgang, Heft 4, April 1977, S. 136 - 142

Schimke, E.-F. (1991): Montageplanung – Methoden, Fallbeispiele, Praxiserfahrung, Düsseldorf 1991

Schmigalla, H. (1970): Methoden zur optimalen Maschinenanordnung, Berlin 1970

Schomburg, E. (1980): Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung der Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme im Maschnienbau, zugl. Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1980

Schönsleben, P. (2006): Integrales Logistikmanagement: Planung und Steuerung der umfassenden Supply Chain, Berlin et al. 2006

Schuh, G. (2005): Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools, München 2005

Schuh, S.; Schultes-Jaskolla, G.; Stitzel, M (2001): Alternative Arbeitszeitstrukturen, in: Marr, R. (Hrsg.): Arbeitszeitmanagement - Grundlagen und Perspektiven der Gestaltung flexibler Arbeitszeitsysteme, Berlin 2001, S. 118 - 141

Schulte, G. (2001): Material- und Logistikmanagement, München et al. 2001

Schweitzer, M.; Küpper, H.-U. (1995); Systeme der Kosten- und Erlösrechnung, München 1995

Schwinn, R. (1996): Betriebswirtschaftslehre, München 1996

Sieg, G. (2007): Volkswirtschaftslehre, München 2007

Stanke, A.; Berndes, S. (1997): Simultaneous Engineering als Strategie zur Überwindung von Effizienzsenken, in: Bullinger, H.-J.; Warschat, J. (Hrsg.): Forschungs- und Entwicklungsmanagement, Stuttgart 1997

Statistisches Bundesamt (2010): Erwerbstätige nach Wirtschaftsbereichen 2009, Wiesbaden 2010

Steger, J. (2006): Kosten- und Leistungsrechnung: Einführung in das betriebliche Rechnungswesen. Grundlagen der Vollkosten-, Teilkosten-, Plankosten und Prozesskostenrechnung, München 2006

Steinhilper, R.; Schneider, A. (1996): Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz in der Fertigungsindustrie, in: Brauer, H. (Hrsg.): Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz, Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik Band 2; Berlin et al. 1996, S. 689 - 781

Steinmüller, P. H. (2000): Die neue Schule des Controllers, Bd. 1, Stuttgart 2000

Stolz, N. W. (1988): Materialbereitstellung in der Montage - Ein Beitrag zum Auf-bau einer anforderungsgerechten Materialbewirtschaftung der Montage in Unternehmen mit Einzel- und Kleinserienproduktion, zugl. Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1988

Syska, A. (2006): Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute, Wiesbaden 2006

Thommen J.-P.; Achleitner, A.-K. (2006): Allgemeine Betriebswirtschafslehre, Wiesbaden 2006

Töpfer, A. (2006): Betriebswirtschaftslehre, Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen, Berlin 2006

Ungeheuer, U. (1986): Produkt- und Montagestrukturierung. Methodik zur Planung einer anforderungsgerechten Produkt- und Montagestruktur für komplexe Erzeugnisse der Einzel- und Kleinserienproduktion, Düsseldorf 1986

Vahrenkamp, R. (2008): Produktionsmanagement, München 2008

Vajna, S., Weber, Ch.; Bley, H.; Zeman, K. (2009): CAx für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung, Berlin et al. 2009

VDI Verein Deutscher Ingenieure (1990): VDI-Richtlinie 2860 Montage- und Handhabungstechnik – Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole, Berlin 1990.

Wagner, K. W.; Patzak, G. (2007): Performance excellence: Der Praxisleitfaden zum effektiven Prozessmanagement, München 2007

Warnecke, H.-J. (1993): Produktionsbetrieb 2, Produktion, Produktionssicherung, Berlin 1993

Werner, H. (1997): Relationales Beschaffungsverhalten. Ausprägungen und Determinanten, Wiesbaden 1997

Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; Keunecke, L. (Hrsg.) (2004): Variantenbeherrschung in der Montage, Berlin et al. 2004

Wildemann, H. (1997): Fertigungsstrategien – Reorganisationskonzepte für eine schlanke Produktion und Zulieferung, München 1997

Wildemann, H. (1998a): Komplexitätsmanagement durch Prozess- und Produktgestaltung, in: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement, Wiesbaden 1998, S. 47 - 68

Wildemann, H. (1998b): Die modulare Fabrik - Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung, München 1998

Wildemann, H. (2010a): Komplexitätsmanagement in Vertrieb, Beschaffung, Produkt, Entwicklung und Produktion, München 2010

Wildemann, H. (2010b): Produktordnungssysteme: Leitfaden zur Standardisierung und Individualisierung des Produktprogramms durch intelligente Plattformstrategien, München 2010

Wildemann, H. (2010c): Make or Buy and Insourcing: Leitfaden zur Optimierung von Leistungsumfängen in Produktion und Logistik, München 2010

Wildemann, H. (2010d): Produktklinik: Leitfaden zur Steigerung der Lerngeschwindigkeit und Produktkostensenkung, München 2010

Wildemann, H. (2010e): Logistik-Check: Identifikation und Erschließung von Logistikpotenzialen, München 2010

Wildemann, H. (2010f): Neue Montagekonzepte, in: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 4/2010, S. 316 - 322

Wildemann, H. (2010g): Produktivitätsverbesserung: Leitfaden zur kurzfristigen und permanenten Produktivitätssteigerung in kleinen und mittleren Unternehmen, München 2010

Wildemann, H. (2010h): Quality Gate Konzept: Leitfaden zur Ausgestaltung eines prozessorientierten Qualitätscontrollings, München 2010

Wildemann, H. (2010i): KANBAN-Produktionssteuerung: Leitfaden zum Einsatz von Karten und elektronischem Kanban zur Einführung des Hol-Prinzips, München 2010

Wildemann, H. (2010j): Fertigungssegmentierung: Leitfaden zur fluss- und logistikgerechten Fabrikgestaltung, München 2010

Wildemann, H. (2010k): Quality Gate Konzept: Leitfaden zur Ausgestaltung eines prozessorientierten Qualitätscontrollings, München 2010

Wildemann, H. (2010l): Prozess-Benchmarking: Leitfaden zur Erreichung von Quantensprüngen in Geschäftsprozessen, München 2010

Witte, H. (2007): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Lebensphasen des Unternehmens und betriebliche Funktionen, München 2007

Worch, B. (1996): Die Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse im Umweltbereich, Darmstadt 1996

Wöhe, G. (1986): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München 1986

Wöhe, G. (2005): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München 2005

Zangemeister, C. (1976): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, zugl. Dissertation TU Berlin 1970, München 1976

Zangemeister, C. (2000): Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA), Bremerhaven 2000

Zimmermann, G. (1988): Produktionsplanung variantenreicher Erzeugnisse mit EDV, Berlin et al. 1988

Anhang

1 Übergreifendes Flussdiagramm zur Montagekonfiguration

2 Flussdiagramm – Montageobjektgestaltung

3 Flussdiagramm – Produktordnungssystemgestaltung

4 Flussdiagramm – Auswahl der Montageorganisationsform

5 Flussdiagramm – Bereitstellungsgestaltung

6 Flussdiagramm – Layout/Materialflussgestaltung (übergreifend)

7 Flussdiagramm – Layout/Materialflussgestaltung (Baustellenmontage)

8 Flussdiagramm – Layout/Materialflussgestaltung (Gruppenmontage)

9 Flussdiagramm – Layout/Materialflussgestaltung (Reihenmontage)

10 Flussdiagramm – Layout/Materialflussgestaltung (Fließmontage)

11 Flussdiagramm – Mitarbeitereinsatzgestaltung

12 Flussdiagramm – Qualitätsorientierte Gestaltung

13 Flussdiagramm – Wirtschaftlichkeitsbewertung

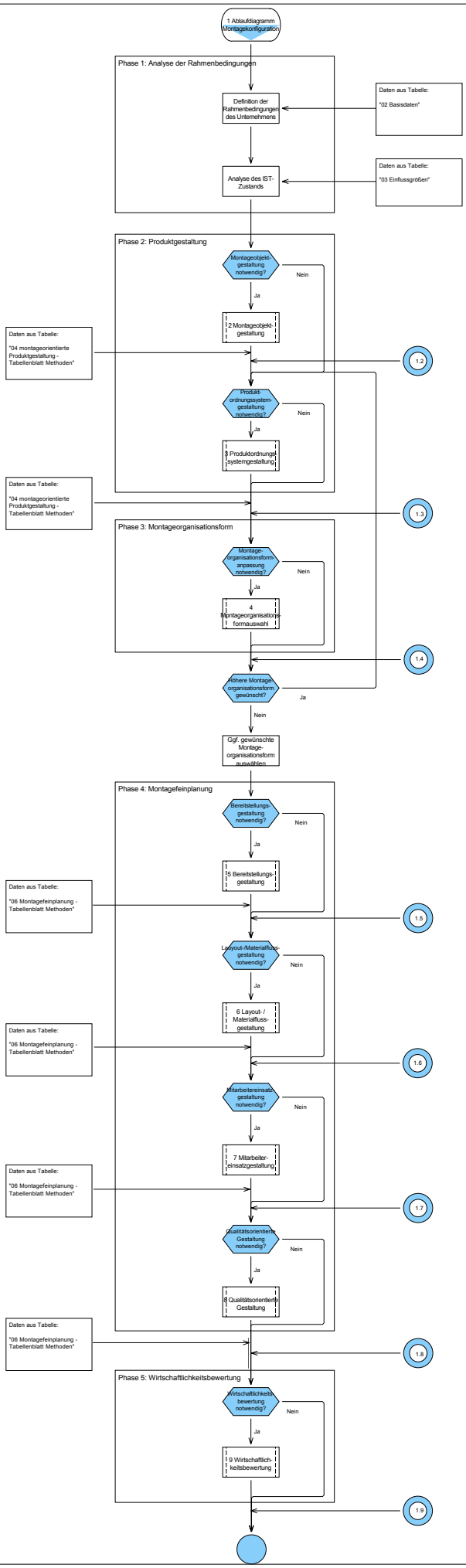
14 Fragebogen

15 Gestaltungsansatzsteckbriefe

1 Ablaufdiagramm Montagekonfiguration

Angelegt am: 10.05.2010, 18:29 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 22.06.2010, 14:45 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung



2 Montageobjekt-gestaltung

Angelegt am: 14.05.2010, 15:18 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 22.06.2010, 14:51 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung

Einflussgrößen auf die Montageobjektgestaltung:

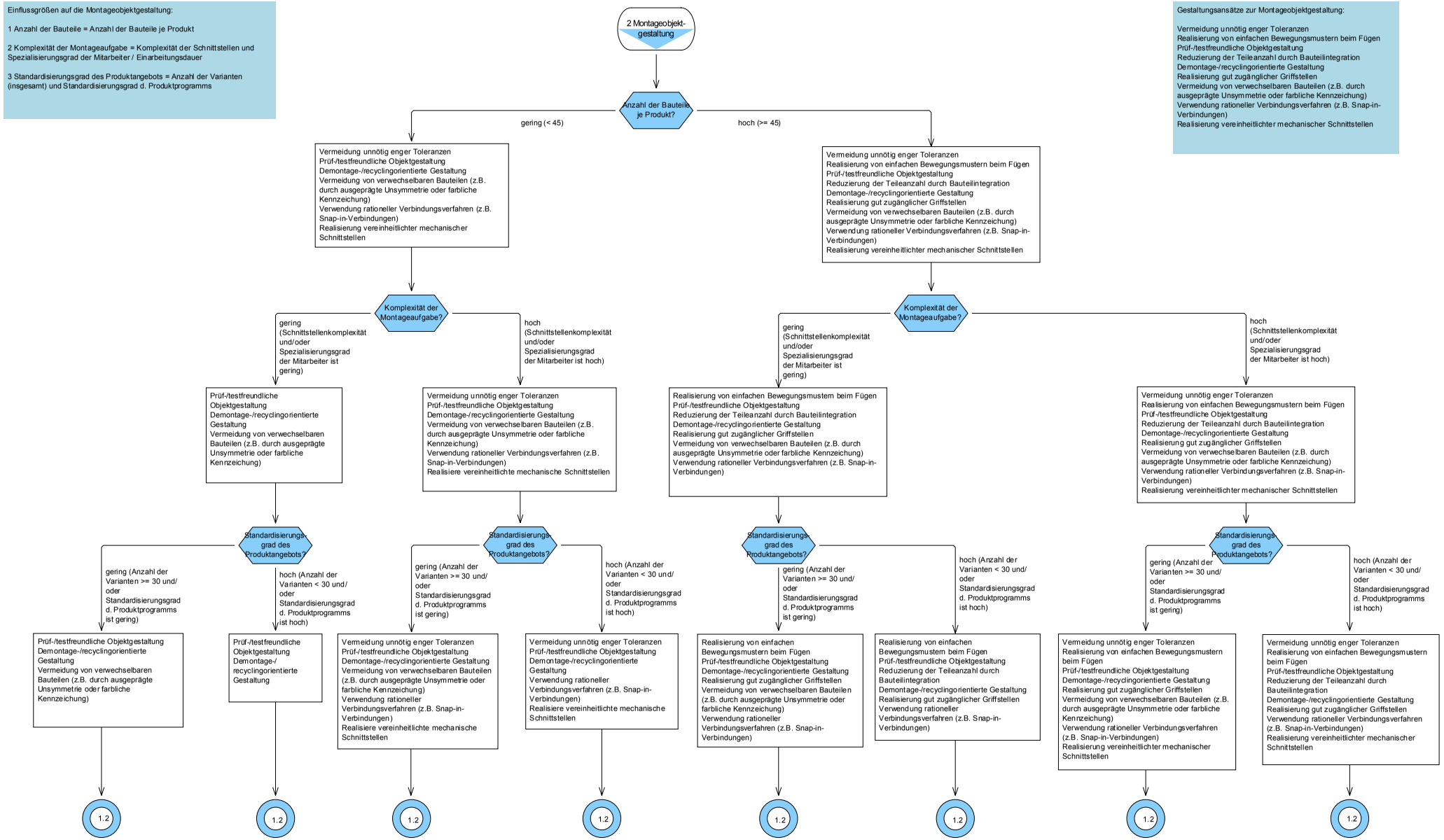
1 Anzahl der Bauteile = Anzahl der Bauteile je Produkt

2 Komplexität der Montageaufgabe = Komplexität der Schnittstellen und Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter / Einarbeitungsdauer

3 Standardisierungsgrad des Produktangebots = Anzahl der Varianten (insgesamt) und Standardisierungsgrad d. Produktprogramms

Gestaltungsansätze zur Montageobjektgestaltung:

Vermeidung unnötig enger Toleranzen
Realisierung von einfachen Bewegungsmustern beim Fügen
Prüf-/testfreundliche Objektgestaltung
Reduzierung der Teileanzahl durch Bauteilintegration
Demontage-/recyclingorientierte Gestaltung
Realisierung gut zugänglicher Griffstellen
Vermeidung von verwechselbaren Bauteilen (z.B. durch ausgeprägte Unsymmetrie oder farbliche Kennzeichnung)
Verwendung rationeller Verbindungsverfahren (z.B. Snap-in-Verbindungen)
Realisierung vereinheitlichter mechanischer Schnittstellen



3 Produktordnungs-systemgestaltung

Angelegt am: 11.05.2010, 12:45 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 22.06.2010, 13:43 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung

Einflussgrößen auf die Produktordnungssystemgestaltung:

1 Anzahl der Bauteile = Anzahl der Bauteile je Produkt

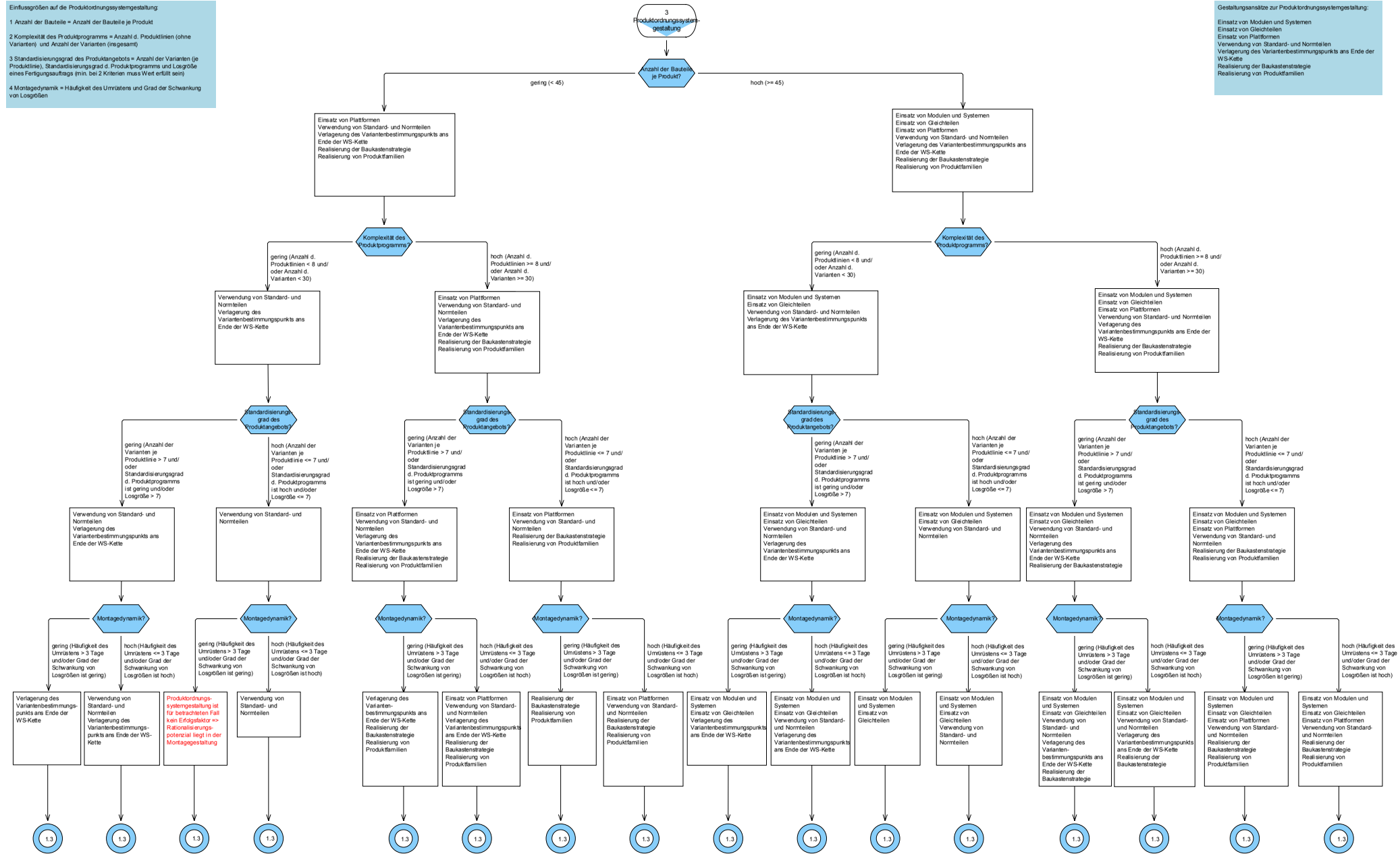
2 Komplexität des Produktprogramms = Anzahl d. Produktlinien (ohne Varianten) und Anzahl der Varianten (insgesamt)

3 Standardisierungsgrad des Produktangebots = Anzahl der Varianten (je Produktlinie), Standardisierungsgrad d. Produktprogramms und Losgröße eines Fertigungsauftrags (min. bei 2 Kriterien muss Wert erfüllt sein)

4 Montagedynamik = Häufigkeit des Umrüstens und Grad der Schwankung von Losgrößen

Gestaltungsansätze zur Produktordnungssystemgestaltung:

Einsatz von Modulen und Systemen
Einsatz von Gleichteilen
Einsatz von Plattformen
Verwendung von Standard- und Normteilen
Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts ans Ende der WS-Kette
Realisierung der Baukastenstrategie
Realisierung von Produktfamilien



4 Montageorganisations-formauswahl

Angelegt am: 11.05.2010, 12:46 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 22.06.2010, 13:42 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung

Einflussgrößen auf die Montageorganisationsformauswahl:

1 Transportierbarkeit des Montageobjekts (Gewicht, Geometrie und Stabilität)

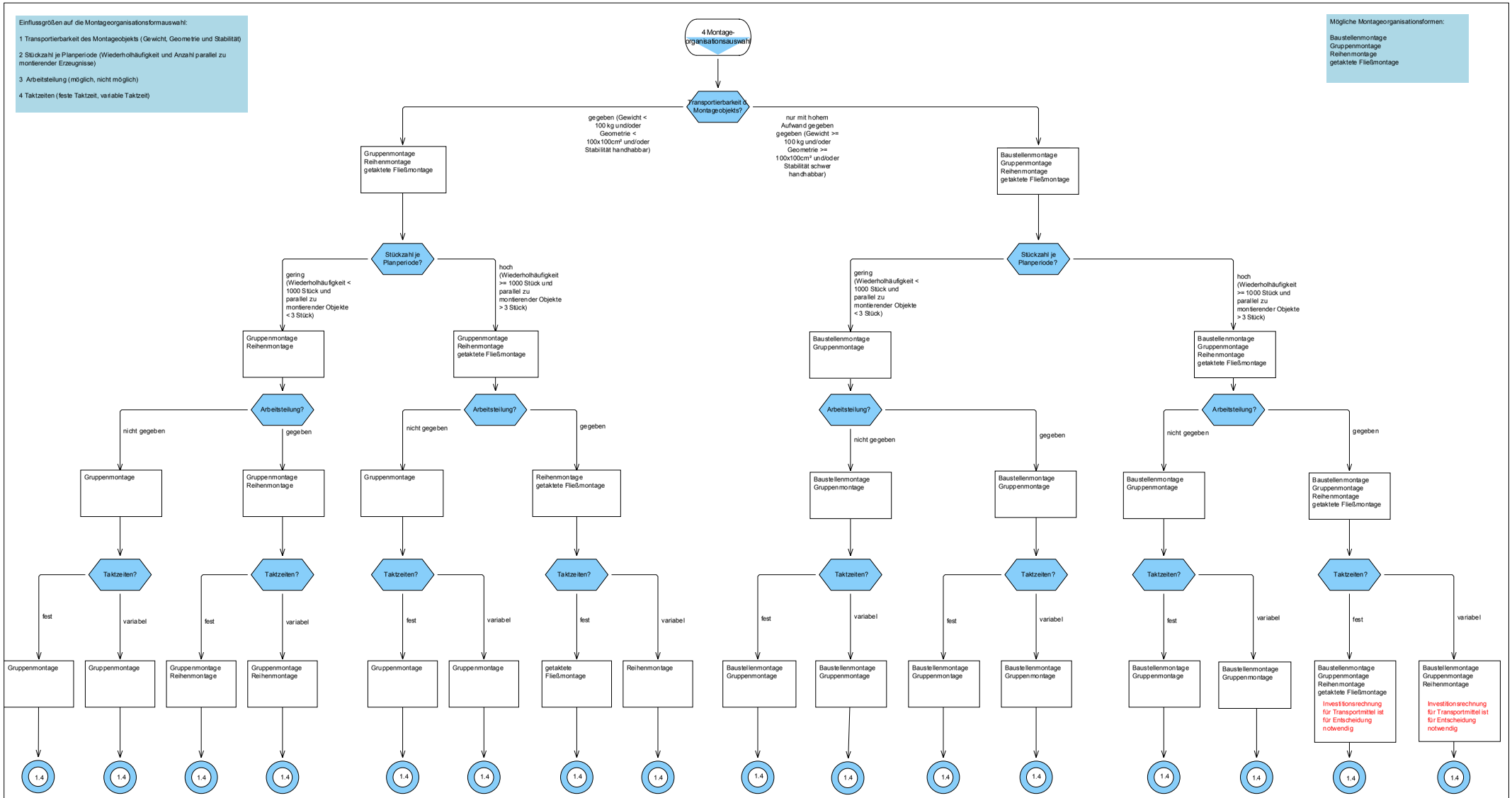
2 Stückzahl je Planperiode (Wiederholhäufigkeit und Anzahl parallel zu montierender Erzeugnisse)

3 Arbeitsteilung (möglich, nicht möglich)

4 Taktzeiten (feste Taktzeit, variable Taktzeit)

Mögliche Montageorganisationsformen:

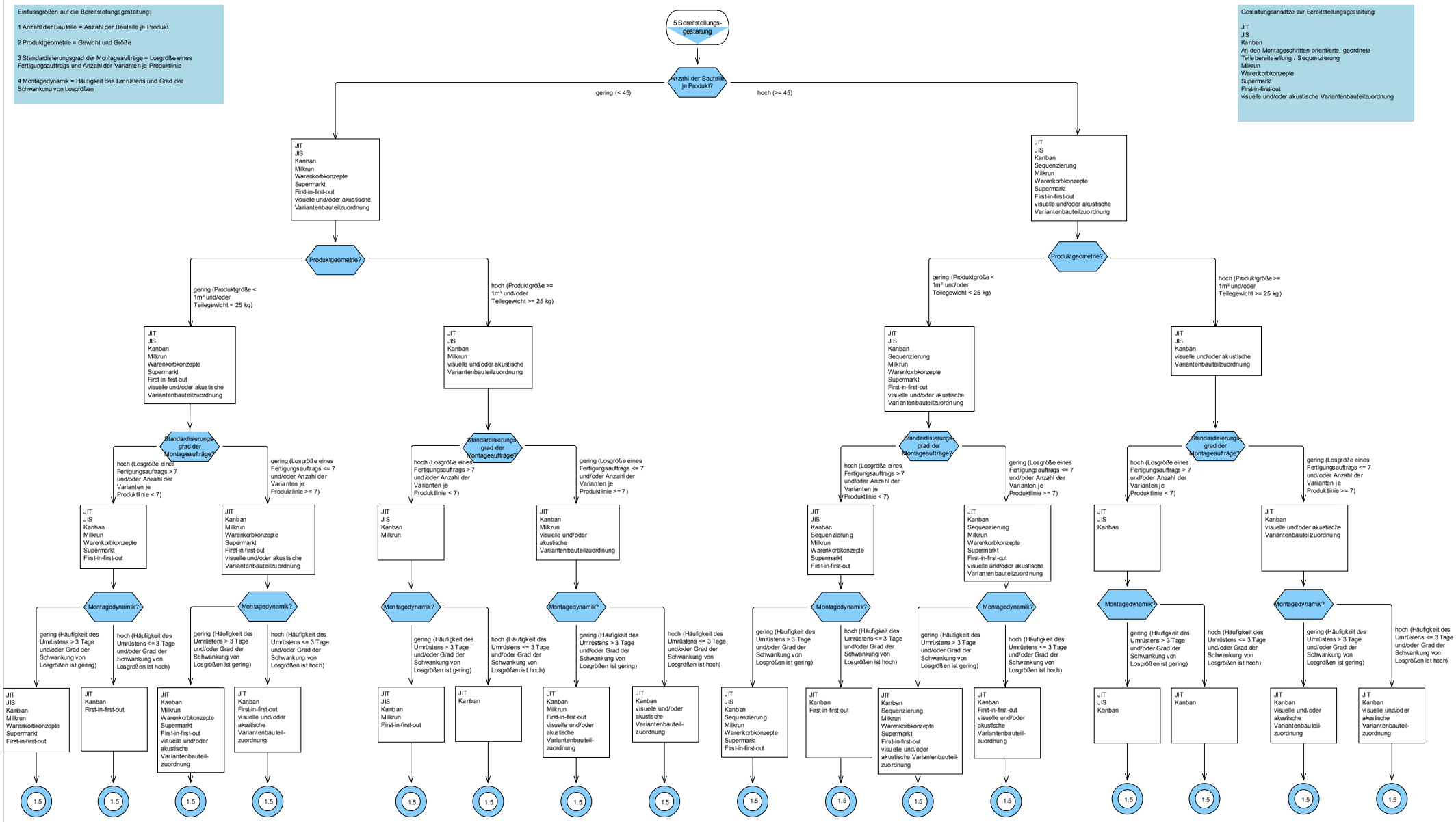
Baustellenmontage
Gruppenmontage
Reihenmontage
getaktete Fließmontage

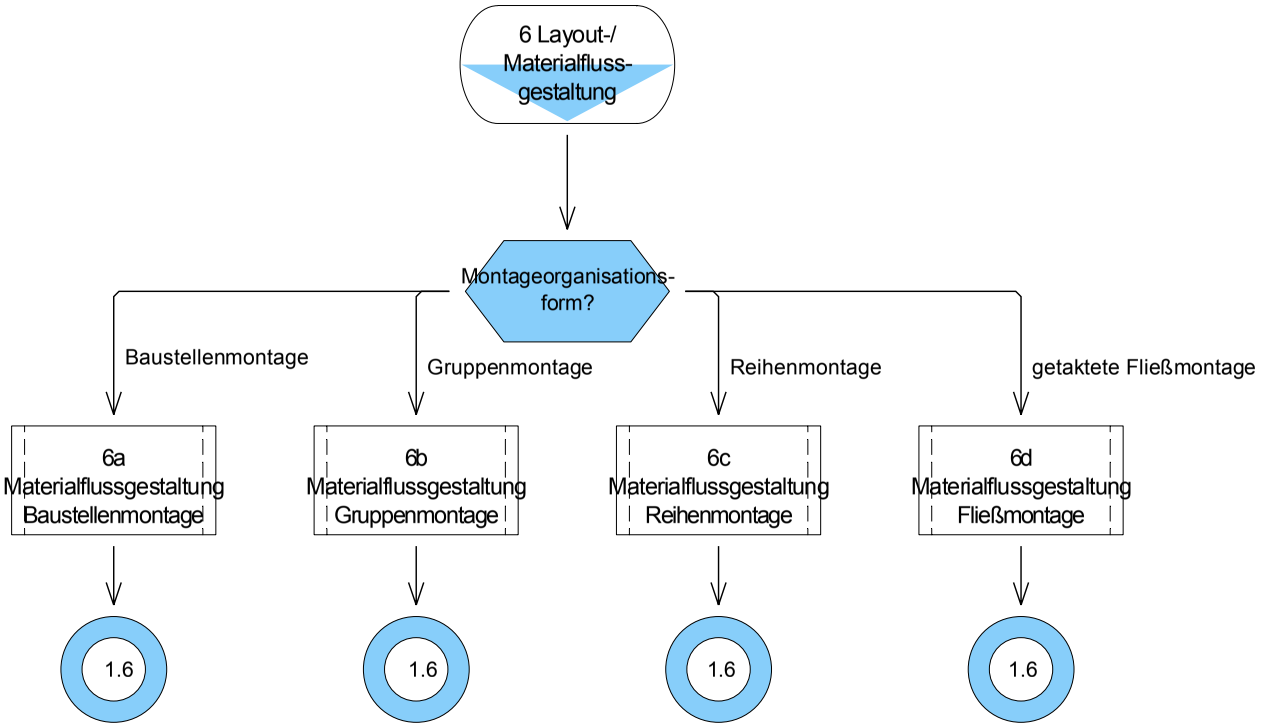


5 Bereitstellungs-gestaltung

Angelegt am: 11.05.2010, 12:48 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

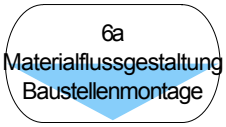
Letzte Änderung am: 22.06.2010, 13:47 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung




6 Layout-/ Materialfluss-gestaltung
Montageorganisations-form?
Baustellenmontage
Gruppenmontage
Reihenmontage
getaktete Fließmontage
6a Materialflussgestaltung Baustellenmontage
6b Materialflussgestaltung Gruppenmontage
6c Materialflussgestaltung Reihenmontage
6d Materialflussgestaltung Fließmontage
1.6
1.6
1.6
1.6

6a Materialflussgestaltung Baustellenmontage

Angelegt am:	12.05.2010, 20:08	von:	1steinbauer	Modelltyp:	Ist-Modell
Letzte Änderung am:	20.05.2010, 16:08	von:	1steinbauer	Status:	In Bearbeitung



Hinweis:

Für die Montageorganisationsform "Baustellenmontage" sind die untersuchten Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung nicht geeignet.

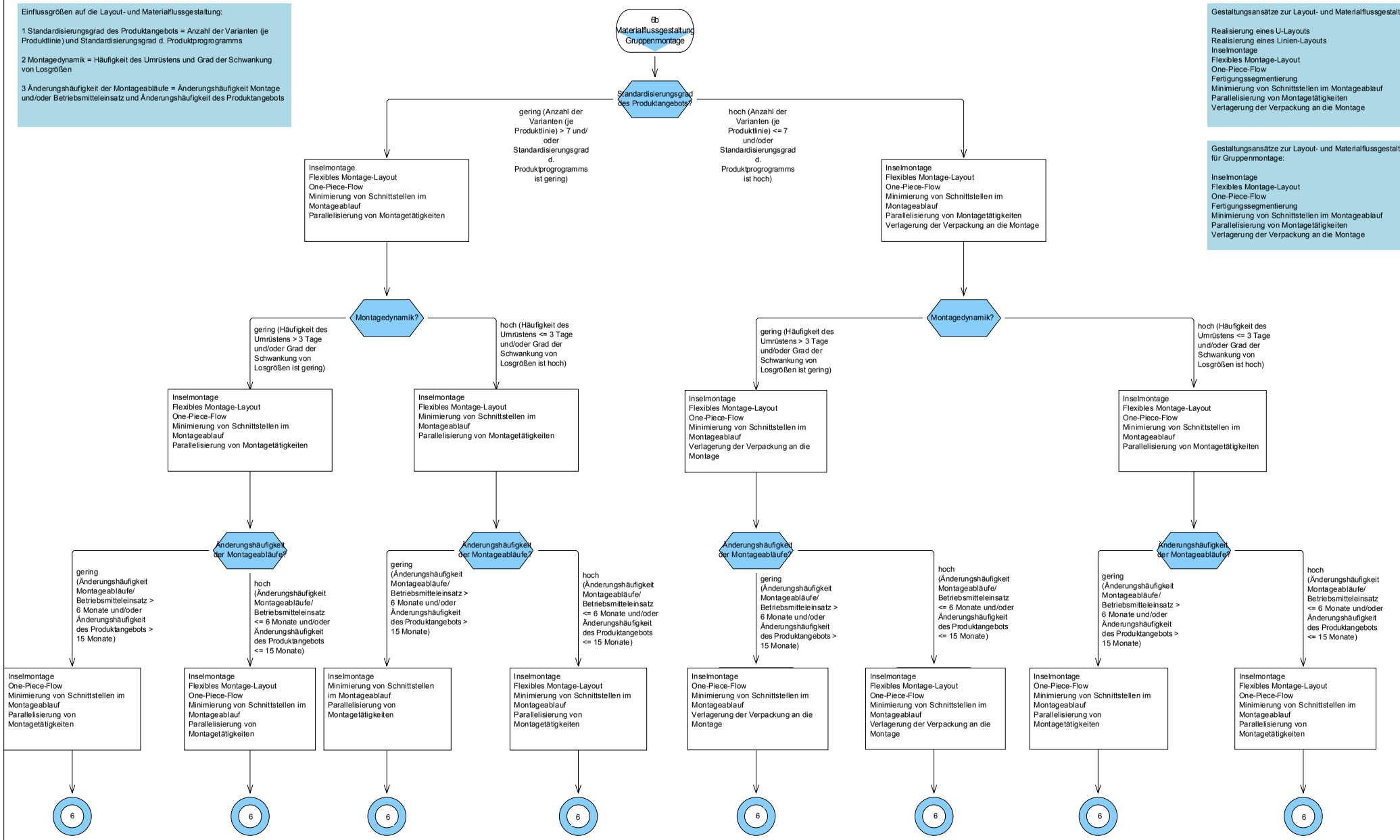
Empfehlungen zur Montagefeinplanung der Baustellenmontage werden zu den Gestaltungsbereichen "Bereitstellungsgestaltung", "Mitarbeitereinsatzgestaltung" und "Qualitätsorientierte Gestaltung" gegeben.

Einflussgrößen auf die Layout- und Materialflussgestaltung:

1 Standardisierungsgrad des Produktangebots = Anzahl der Varianten (je Produktlinie) und Standardisierungsgrad d. Produktprogrogramms

2 Montagedynamik = Häufigkeit des Umrüstens und Grad der Schwankung von Losgrößen

3 Änderungshäufigkeit der Montageabläufe = Änderungshäufigkeit Montage und/oder Betriebsmitteleinsatz und Änderungshäufigkeit des Produktangebots



Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung:

Realisierung eines U-Layouts
Realisierung eines Linien-Layouts
Inselmontage
Flexibles Montage-Layout
One-Piece-Flow
Fertigungssegmentierung
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf
Parallelisierung von Montagetätigkeiten
Verlagerung der Verpackung an die Montage

Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung für Gruppenmontage:

Inselmontage
Flexibles Montage-Layout
One-Piece-Flow
Fertigungssegmentierung
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf
Parallelisierung von Montagetätigkeiten
Verlagerung der Verpackung an die Montage

6c Materialflussgestaltung Reihenmontage

Angelegt am: 16.05.2010, 16:52 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 19.05.2010, 16:14 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung

Einflussgrößen auf die Layout- und Materialflussgestaltung:

1 Standardisierungsgrad des Produktangebots = Anzahl der Varianten (je Produktlinie) und Standardisierungsgrad d. Produktprogrogramms

2 Montagedynamik = Häufigkeit des Umrüstens und Grad der Schwankung von Losgrößen

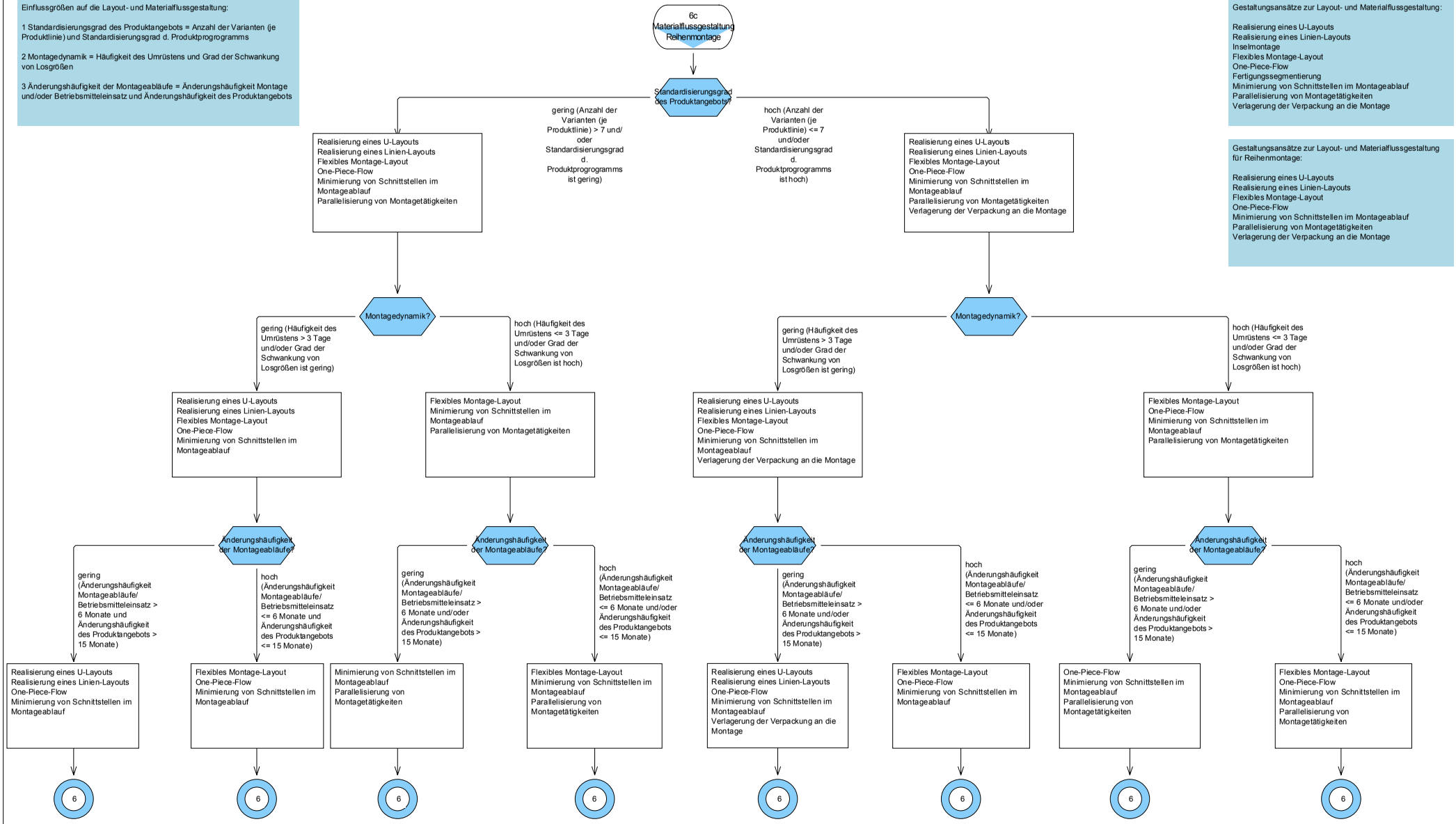
3 Änderungshäufigkeit der Montageabläufe = Änderungshäufigkeit Montage und/oder Betriebsmitteleinsatz und Änderungshäufigkeit des Produktangebots

Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung:

Realisierung eines U-Layouts
Realisierung eines Linien-Layouts
Inselmontage
Flexibles Montage-Layout
One-Piece-Flow
Fertigungssegmentierung
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf
Parallelisierung von Montagetätigkeiten
Verlagerung der Verpackung an die Montage

Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung für Reihenmontage:

Realisierung eines U-Layouts
Realisierung eines Linien-Layouts
Flexibles Montage-Layout
One-Piece-Flow
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf
Parallelisierung von Montagetätigkeiten
Verlagerung der Verpackung an die Montage



6d Materialflussgestaltung Fließmontage

Angelegt am: 16.05.2010, 16:52 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

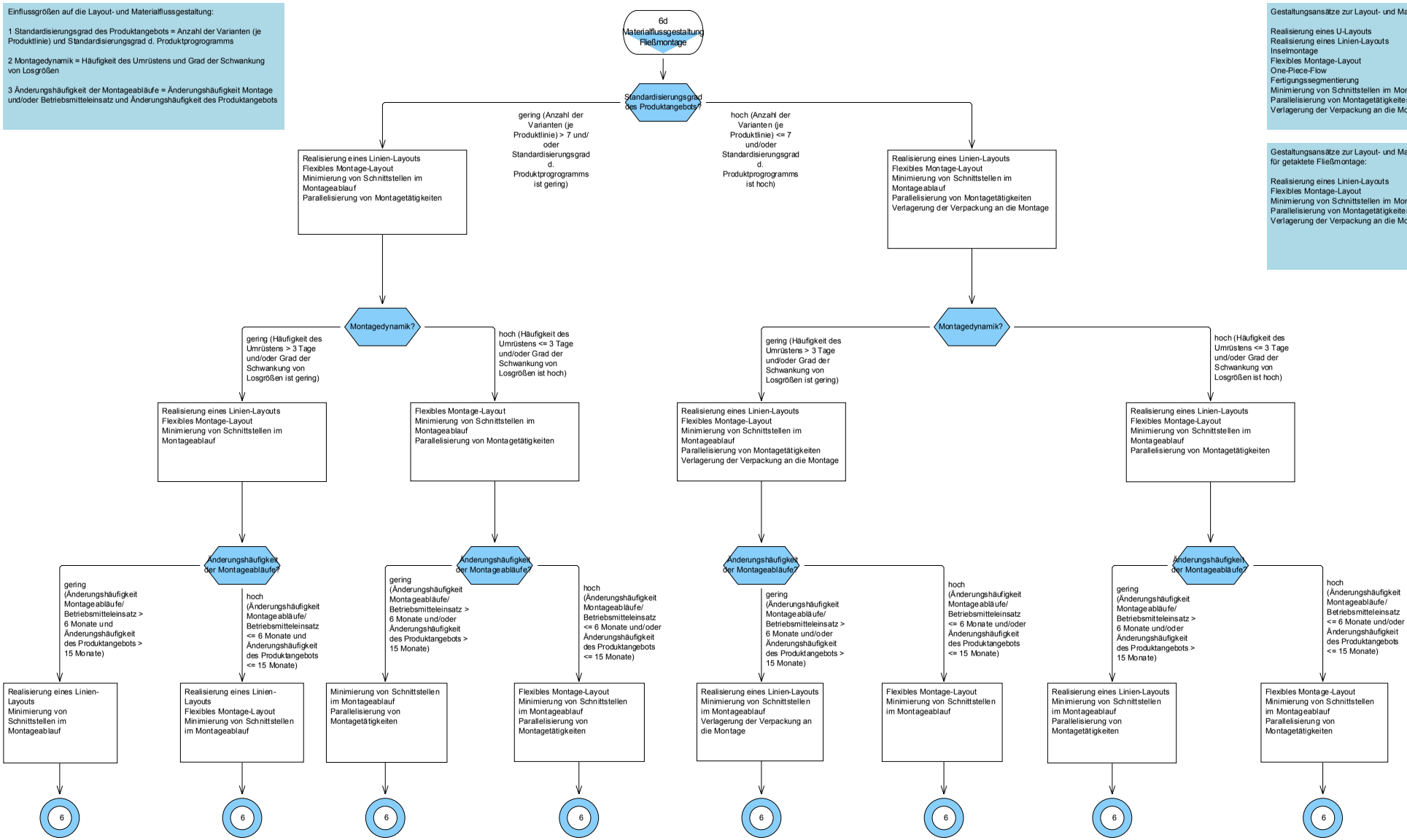
Letzte Änderung am: 22.06.2010, 14:15 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung

Einflussgrößen auf die Layout- und Materialflussgestaltung:

1 Standardisierungsgrad des Produktangebots = Anzahl der Varianten (je Produktlinie) und Standardisierungsgrad d. Produktprogrogramms

2 Montagedynamik = Häufigkeit des Umrüstens und Grad der Schwankung von Losgrößen

3 Änderungshäufigkeit der Montageabläufe = Änderungshäufigkeit Montage und/oder Betriebsmitteleinsatz und Änderungshäufigkeit des Produktangebots



Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung:

Realisierung eines U-Layouts
Realisierung eines Linien-Layouts
Inselmontage
Flexibles Montage-Layout
One-Piece-Flow
Fertigungssegmentierung
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf
Parallelisierung von Montagetätigkeiten
Verlagerung der Verpackung an die Montage

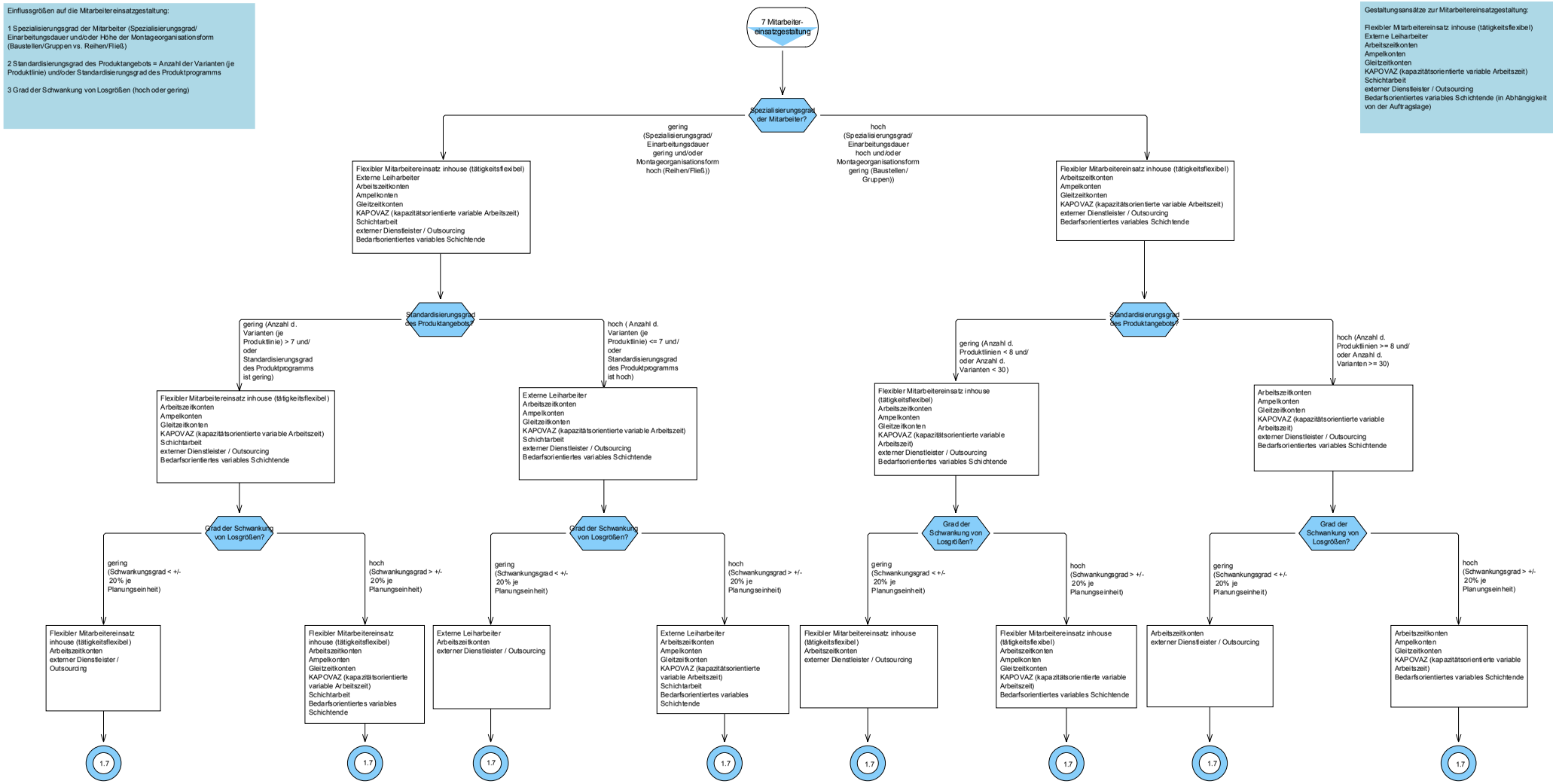
Gestaltungsansätze zur Layout- und Materialflussgestaltung für getaktete Fließmontage:

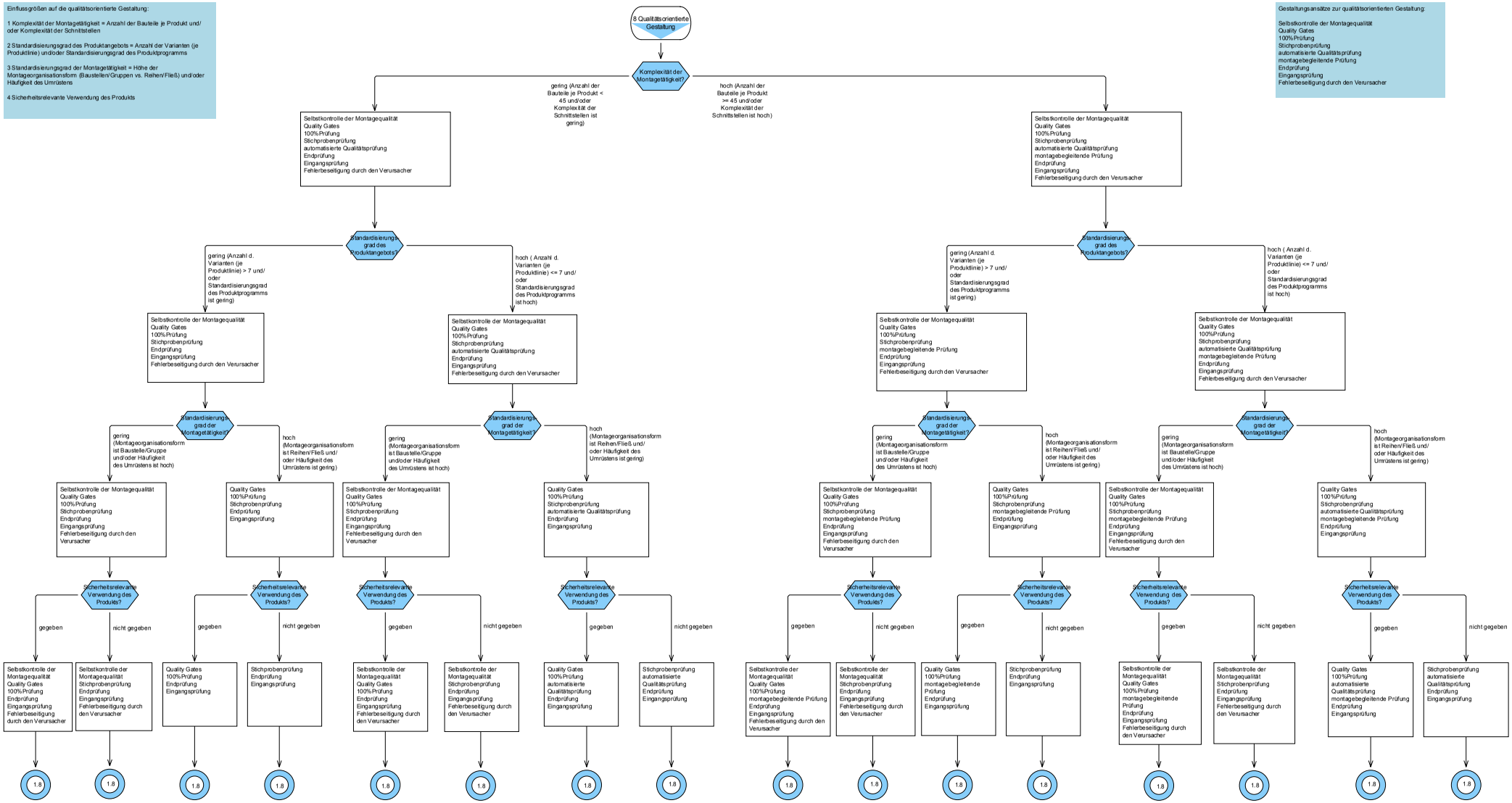
Realisierung eines Linien-Layouts
Flexibles Montage-Layout
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf
Parallelisierung von Montagetätigkeiten
Verlagerung der Verpackung an die Montage

7 Mitarbeiter-einsatzgestaltung

Angelegt am: 11.05.2010, 12:54 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 22.06.2010, 14:15 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung

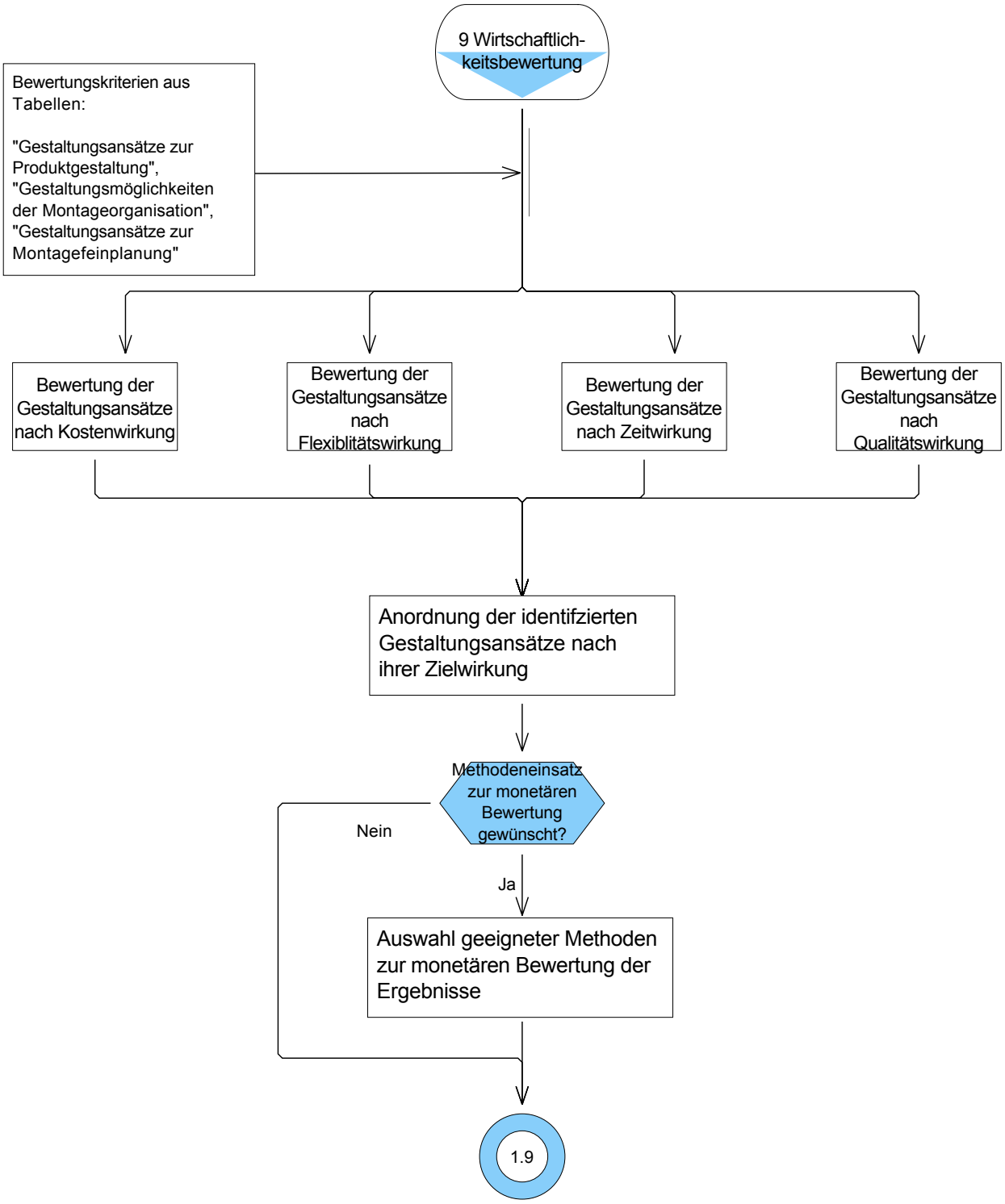



Einflussgrößen auf die qualitätsorientierte Gestaltung:
1 Komplexität der Montagetätigkeit = Anzahl der Bauteile je Produkt und/ oder Komplexität der Schnittstellen
2 Standardisierungsgrad des Produktangebots = Anzahl der Varianten (je Produktlinie) und/oder Standardisierungsgrad des Produktprogramms
3 Standardisierungsgrad der Montagetätigkeit = Höhe der Montageorganisationsform (Baustellen/Gruppen vs. Reihen/Fließ) und/oder Häufigkeit des Umrüstens
4 Sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts
8 Qualitätsorientierte Gestaltung
Komplexität der Montagetätigkeit?
gering (Anzahl der Bauteile je Produkt < 45 und/oder Komplexität der Schnittstellen ist gering)
hoch (Anzahl der Bauteile je Produkt >= 45 und/oder Komplexität der Schnittstellen ist hoch)
Gestaltungsansätze zur qualitätsorientierten Gestaltung:
Selbstkontrolle der Montagequalität
Quality Gates
100%Prüfung
Stichprobenprüfung
automatisierte Qualitätsprüfung
montagebegleitende Prüfung
Endprüfung
Eingangsprüfung
Fehlerbeseitigung durch den Verursacher
Standardisierungsgrad des Produktangebots?
gering (Anzahl d. Varianten (je Produktlinie) > 7 und/ oder Standardisierungsgrad des Produktprogramms ist gering)
hoch (Anzahl d. Varianten (je Produktlinie) <= 7 und/ oder Standardisierungsgrad des Produktprogramms ist hoch)
Standardisierungsgrad der Montagetätigkeit?
gering (Montageorganisationsform ist Baustelle/Gruppe und/oder Häufigkeit des Umrüstens ist hoch)
hoch (Montageorganisationsform ist Reihen/Fließ und/ oder Häufigkeit des Umrüstens ist gering)
Sicherheitsrelevante Verwendung des Produkts?
gegeben
nicht gegeben
1.8

9 Wirtschaftlich-keitsbewertung

Angelegt am: 11.05.2010, 15:46 von: 1steinbauer Modelltyp: Ist-Modell

Letzte Änderung am: 22.06.2010, 14:45 von: 1steinbauer Status: In Bearbeitung



Anhang 14

Fragen zum Unternehmen

A Fragen zum Unternehmen

A. 1 Zur Abschätzung der Größe Ihres Unternehmens bitte ich Sie um folgende Angaben

Umsatz (2008) in Mio. EUR	☐ < 50	☐ 50-99	☐ 100-999	☐ 1.000-10.000	☐ > 10.000
Anzahl der Beschäftigten (2008)	☐ < 50	☐ 50-500	☐ 501-5.000	☐ 5.001-50.000	☐ > 50.000

Worauf beziehen sich Ihre Angaben? ☐ Gesamtunternehmen ☐ ausgewählte Division

A. 2 Welcher Branche gehört Ihr Unternehmen an?

☐ (Sonder)maschinenbau ☐ Medizintechnik ☐ Luftfahrt
☐ Elektroindustrie, Elektronik ☐ Schiffbau ☐ Automobil
☐ Kunststoff-, Gummiverarbeitung ☐ Fahrzeugbau (ohne Automobil)
☐ Sonstige:_____

A. 3 Welche Position in der Wertschöpfungskette nimmt Ihr Unternehmen ein?

☐ OEM ☐ Tier-1-Zulieferer ☐ Tier-2-Zulieferer ☐ sonstige

A. 4 Welche Strategie verfolgt Ihr Unternehmen? (Mehrfachnennungen möglich)

☐ Kostenführerschaft ☐ Qualitätsführerschaft ☐ Technologieführerschaft

B Fragen zur Fertigung und Montage

B. 1 Welchen Fertigungsarten ist Ihre Montage zuzuordnen? (Mehrfachnennungen möglich)

☐ Einmalfertigung ☐ Großserienfertigung
☐ Einzel- und Kleinserienfertigung ☐ Massenfertigung
☐ Serienfertigung

B. 2 Bitte wählen Sie eine Fertigungsart aus, auf die sich Ihre weiteren Antworten beziehen? (wenn vorhanden, bitte bevorzugt Angaben zur Einzel- und Kleinserienfertigung)

☐ Einmalfertigung ☐ Serienfertigung ☐ Massenfertigung
☐ Einzel- und Kleinserienfertigung ☐ Großserienfertigung

B. 3 Welche Montageorganisationsform ist in Ihrer Montage vorherrschend?

☐ Baustellenmontage ☐ Reihenmontage
☐ Gruppenmontage ☐ Fließmontage

B. 4 Wie hoch ist der Automatisierungsgrad in der Montage? (Bzgl. Kosten je Montageschritt)

☐ < 20% ☐ 20 - 40% ☐ 41 - 60% ☐ 61 - 80% ☐ > 80%

B. 5 Wie hoch ist die Fertigungstiefe Ihrer Produktion?

☐ < 20% ☐ 20 - 40% ☐ 41 - 60% ☐ 61 - 80% ☐ > 80%

B. 6 Wie hoch ist durchschnittlich die Durchlaufzeit für die Montage eines Produkts? (Angaben in Arbeitstagen)

☐ < 1 Tag ☐ 1 - 5 Tage ☐ 6 - 30 Tage ☐ 31 - 90 Tage ☐ > 90 Tage

B. 7 Wie schätzen Sie die Komplexität Ihrer Produkte und Ihres Produktprogramms ein?

	sehr gering				sehr hoch
Produktkomplexität	☐	☐	☐	☐	☐
Produktprogrammkomplexität	☐	☐	☐	☐	☐

Einflussgrößen

C Einflussgrößen auf den Erfolg der Montage

C. 1 Wie hoch ist die Anzahl der zu montierenden (Bau)teile je Produkt? (nach Stückliste)

☐ < 10 ☐ 10 - 50 ☐ 51 - 300 ☐ 301 - 1000 ☐ > 1000

C. 2 Wie beurteilen Sie die folgenden Produktmerkmale?

	sehr gering				sehr hoch
Anzahl technischer Schnittstellen zu anderen Teilen	☐	☐	☐	☐	☐
(technische) Komplexität der Bauteilschnittstelle	☐	☐	☐	☐	☐
Einarbeitungszeit/Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter für Montage	☐	☐	☐	☐	☐
Größe, Gewicht bzw. Handhabbarkeit der Produkte	☐	☐	☐	☐	☐

C. 3 Wie hoch ist die Anzahl der Produktlinien/verschiedenen Produkte (ohne Varianten)?

☐ < 5 ☐ 5 - 15 ☐ 16 - 50 ☐ 51 - 100 ☐ > 100

C. 4 Wie hoch ist die Anzahl der Varianten (insgesamt)?

☐ < 5 ☐ 5 - 20 ☐ 21 - 100 ☐ 101 - 500 ☐ > 500

C. 5 Wie hoch ist die Anzahl der Varianten (im Durchschnitt je Produktlinie)?

☐ < 3 ☐ 3 - 10 ☐ 11 - 30 ☐ 31 - 100 ☐ > 100

C. 6 Wie beurteilen Sie Ihr Produktprogramm?

	kunden-spezifisch	eher kun-denspezifisch	mittel	eher stan-dardisiert	standar-disiert
Standardisierungsgrad der Produkte	☐	☐	☐	☐	☐

C. 7 Wie beurteilen Sie folgende Größen, die das Produktprogramm beschreiben?

	sehr gering				sehr hoch
Auftrittshäufigkeit der einzelnen Varianten	☐	☐	☐	☐	☐
Anzahl der unterschiedl. Kann-Bauteile zur Ausgestaltung der Varianten	☐	☐	☐	☐	☐

C. 8 Wie groß ist durchschnittlich die Losgröße eines Fertigungsauftrags?

☐ < 5 ☐ 5 - 20 ☐ 21 - 100 ☐ 101 - 500 ☐ > 500

C. 9 Wie lang ist durchschnittlich ein Produktlebenszyklus? (von der Produktidee bis zur letzten Auslieferung)

☐ < 5 Jahre ☐ 5 - 10 Jahre ☐ 11 - 15 Jahre ☐ 16 - 30 Jahre ☐ > 30 Jahre

C. 10 Wie häufig rüsten Sie die Maschinen in Ihrer Montage um? (Angaben in Arbeitstagen)

☐ < 1 Tag ☐ 1 - 10 Tage ☐ 11 - 30 Tage ☐ 31 - 100 Tage ☐ > 100 Tage

C. 11 Wie häufig ändern Sie Ihre Montageabläufe und / oder Ihren Betriebsmitteleinsatz?

☐ < 1 Monat ☐ 1 Monat - 1 Jahr ☐ 2 - 5 Jahre ☐ 6 - 10 Jahre ☐ > 10 Jahre

C. 12 Wie beurteilen Sie den Grad der Dynamik bezogen auf Ihre Montage?

	sehr gering				sehr hoch
Grad der Schwankung von Losgrößen	☐	☐	☐	☐	☐
Ausmaß der Änderungen am Produkt	☐	☐	☐	☐	☐
Ausmaß der Änderungen am Produktprogr.	☐	☐	☐	☐	☐

C. 13 Wie häufig ändern Sie Ihr Produktangebot? (neue Varianten, neue Produktlinien)

☐ < 6 Monate ☐ 6 Monate - 2 Jahre ☐ 3 - 5 Jahre ☐ 6- 10 Jahre ☐ > 10 Jahre

Gestaltungsfelder

C. 14 Wie lassen sich die Ziele, die Sie mit der Gestaltung von Produkt, Produktprogramm und Produktionslogistik verfolgen, einordnen?

	trifft nicht zu				trifft voll zu
Reduzierung der (Montage-)Kosten	☐	☐	☐	☐	☐
Reduzierung von Durchlaufzeiten	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Liefertreue	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Produktflexibilität	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Mengenflexibilität	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Produktqualität	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Prozessqualität (robuste Prozesse)	☐	☐	☐	☐	☐

D Gestaltungsfeld 1: Produktgestaltung

D. 1 Bei wie viel Prozent der zu montierenden Teile und Objekte sind nachfolgende Strategien und Konzepte der montageorientierten Produktgestaltung umgesetzt?

	<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%
Orientierungsfreundliche Objektgestaltung	☐	☐	☐	☐	☐
Erleichterung des Zusammensteckens (z.B. Einführschrägen)	☐	☐	☐	☐	☐
Einfache Bewegungsmuster beim Fügen	☐	☐	☐	☐	☐
Gut zugängliche Griffstellen/-punkte	☐	☐	☐	☐	☐
Geringe Vielfalt verschied. Abmessungen	☐	☐	☐	☐	☐
Vermeidung unnötig enger Toleranzen	☐	☐	☐	☐	☐
Demontage-/recyclingorientierte Gestaltung	☐	☐	☐	☐	☐
Transportorientierte Gestaltung	☐	☐	☐	☐	☐
Prüf-/testfreundliche Objektgestaltung	☐	☐	☐	☐	☐

D Gestaltungsfeld 2: Produktprogrammrealisierung

D. 2 Welche Strategien und Konzepte berücksichtigen Sie im Rahmen der montageorientierten Umsetzung des Produktprogramms?

	sehr gering				sehr hoch
Reduzierung der Teileanzahl/ Bauteilintegration	☐	☐	☐	☐	☐
Verlagerung des Variantenbestimmungs-punkts ans Ende der Wertschöpfungskette	☐	☐	☐	☐	☐

D. 3 Wie hoch ist der durchschnittliche Anteil der folgenden Teilearten bei den Produkten Ihres Produktgramms (varianten- und produktlinienübergreifend)?

	<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%
Standard- und Normteile	☐	☐	☐	☐	☐
Module und Systeme	☐	☐	☐	☐	☐
Gleichteile	☐	☐	☐	☐	☐

D. 4 An welcher Position der Wertschöpfungskette befindet sich der Varianten-bestimmungspunkt Ihres Produktprogramms?

	<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%
Variantenbestimmungspunkt liegt bei …	☐	☐	☐	☐	☐

Gestaltungsfelder

D. 5 Bei wie viel <u>Prozent Ihres Produktprogramms</u> wurden folgende Strategien umgesetzt?

	<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%
Bildung von Produktfamilien	☐	☐	☐	☐	☐
Einsatz von Plattformen	☐	☐	☐	☐	☐
Anwendung der Baukastenstrategie	☐	☐	☐	☐	☐
Bauteilintegration (Reduzierung der Teileanzahl)	☐	☐	☐	☐	☐

D Gestaltungsfeld 3: Gestaltung der Produktionslogistik

D. 6 Bei viel <u>Prozent</u> Ihrer Montagelinien sind folgende <u>Gestaltungsrichtlinien der Produktionslogistik</u> implementiert?

	<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%
Holpflicht (Kanban-Prinzip)	☐	☐	☐	☐	☐
Vermeidung von Zwischenlagern (Implementierung von JIT/JIS)	☐	☐	☐	☐	☐
Bildung von Fertigungssegmenten	☐	☐	☐	☐	☐
Räumliche Konzentration von Betriebsmitteln in der Montage	☐	☐	☐	☐	☐
Selbstkontrolle der Montagequalität	☐	☐	☐	☐	☐
An den Montageschritten orientierte, geordnete Teilebereitstellung	☐	☐	☐	☐	☐
Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf	☐	☐	☐	☐	☐
Synchronisierung der Bereitstellung von für die Montage benötigten Teilen	☐	☐	☐	☐	☐

D. 7 Wie viel Prozent der Montagetätigkeiten sind <u>parallelisiert</u>?

	<20%	20-40%	41-60%	61-80%	>80%
Parallelisierung liegt bei …	☐	☐	☐	☐	☐

D Gestaltungsfeld 4: Methodeneinsatz

D. 8 Wie bewerten Sie den Anwendungsgrad und die Bedeutung folgender <u>Methoden u. Instrumente zur Analyse u. Realisierung</u> einer montageorientierten <u>Produktgestaltung</u>?

	Anwendung IST					**Anwendung SOLL**				
	sehr gering				sehr hoch	sehr gering				sehr hoch
Expertenbefragung (z.B. Delphi-Analyse)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Kreativitätstechniken (z.B. Brainstorming)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Produktbenchmarking (montageorientiert)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Montageerweiterte ABC-Analyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Komplexitätsanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Simultaneous Engineering	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Integrierte Produktentwicklung	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Auswahl d. richtigen Verbindungsmethode (nach Gairola)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
DFMA/ DFA/ DFM	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Assemblability Evaluation Method (Hitachi)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Boothroyd-Dewhurst-Method	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lucas Methode	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Gestaltungsfelder

D. 9 Wie bewerten Sie den Anwendungsgrad u. die Bedeutung folgender <u>Methoden zur Analyse u. Realisierung</u> einer montageorientierten <u>Produktprogrammgestaltung</u>?

	Anwendung IST					Anwendung SOLL				
	sehr gering				sehr hoch	sehr gering				sehr hoch
Produktlebenszyklusanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Produktklinik	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Funktionsanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Analyse funktionaler Zusammensetzung	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fügematrix	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Checkliste Produktstrukturierung	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Variantenübersicht/ Variantenbaum	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Typen- und Stückzahlenanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Reichweitenanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Produktstrukturanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Design-Struktur-Matrix	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

D. 10 Wie bewerten Sie den Anwendungsgrad u. die Bedeutung folgender <u>Methoden zur Analyse u. Realisierung</u> einer montageorientierten <u>Produktionslogistikgestaltung</u>?

	Anwendung IST					Anwendung SOLL				
	sehr gering				sehr hoch	sehr gering				sehr hoch
Logistikorientierte SWOT-Analyse/ Stärken-Schwächen-Analyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ABC-Analyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Benchmarking (extern/intern)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Zeitreihenanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Analyse logistischer Kennzahlen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Materialflussmatrix	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wertzuwachsanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Prozesswertanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Schnittstellenanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Sankey-Diagramm	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wertstromanalyse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Erfolg

E Erfolg der montageorientierten Produkt-, Produktprogramm- und Logistikgestaltung

E. 1 Haben die Ergebnisse der Gestaltungstätigkeiten Ihre Erwartungen erfüllt?

	Überhaupt nicht erfüllt				Vollkommen erfüllt
Erwartungen der montageorientierten Produktgestaltung	☐	☐	☐	☐	☐
Erwartungen der montageorientierten Produktprogrammgestaltung	☐	☐	☐	☐	☐
Erwartungen der montageorientierten Produktionslogistikgestaltung	☐	☐	☐	☐	☐
Erwartungen der montageorientierten Produkt-, Produktprogramm- und Produktionslogistikgestaltung (in Summe)	☐	☐	☐	☐	☐

E. 2 Würden Sie die Gestaltung wieder derart realisieren?

	Nein, auf keinen Fall				Ja, genau so
Montageorientierte Gestaltung der Produkte	☐	☐	☐	☐	☐
Montageorientierte Gestaltung des Produktprogramms	☐	☐	☐	☐	☐
Montageorientierte Gestaltung der Produktionslogistik	☐	☐	☐	☐	☐
Montageorientierte Gestaltung von Produkt, Produktprogramm und Produktionslogistik (in Summe)	☐	☐	☐	☐	☐

E. 3 In welchem Umfang haben sich die Zielsetzungen der montagorientierten Produkt-, Produktprogramm- und Produktionslogistikgestaltung erfüllt?

	Überhaupt nicht erfüllt				Vollkommen erfüllt
Reduzierung der Montagekosten	☐	☐	☐	☐	☐
Reduzierung von Durchlaufzeiten	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Liefertreue	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Produktflexibilität	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Mengenflexibilität	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Produktqualität	☐	☐	☐	☐	☐
Erhöhung der Prozessqualität	☐	☐	☐	☐	☐

Vielen herzlichen Dank für Ihre Unterstützung!

Rücksendung bitte an:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre –
Unternehmensführung, Logistik und Produktion
z. Hd. Frau Carola Steinbauer
Leopoldstraße 145
80804 München
Fax: 089/289 240 11
E-Mail: Carola.Steinbauer@wi.tum.de

Gerne sende ich Ihnen als Dankeschön die Auswertung des Fragebogens zu. Bitte geben Sie dazu Ihre Kontaktdaten an:

Unternehmen: _____

Ansprechpartner: _____

Straße, HNr.: _____

PLZ, Ort: _____

Tel.: _____

E-Mail.: _____

Anhang 15 – Gestaltungsansätze zur montageorientierten Produktgestaltung

Steckbrief Gestaltungsansatz: Demontageorientierte Produktgestaltung

Beschreibung und Vorgehensweise

Ziel der demontageorientierten Produktgestaltung ist die Vereinfachung des Teileaustauschs bei Verschleiß der Bauteile. Insbesondere bei hochwertigen Produkten ist der Austausch von Bauteilen vom Kunden gewünscht.

Zur Erleichterung des Austauschs von Bauteilen sind die Verbindungen zwischen den Bauteilen gut zugänglich und leicht lösbar zu gestalten. Wenn eine zerstörungsfreie Demontage nicht möglich ist, sollte der zerstörende Trennvorgang auf niedrigwertige Bausteile beschränkt sein. Niedrigwertige Bauteile sind beispielsweise Verbindungselemente. Zudem sind lösbare Verbindungen zu präferieren. Diese sind Verbindungen, die auf Form- oder Kraftschluss basieren (z. B. Schraub- und Schnappverbindungen).

Die Beschädigung wiederverwendbarere Bauteile bei der Demontage ist konstruktiv zu vermeiden.

Durch eine demontageorientierte Produktgestaltung können sowohl Demontagezeit als auch Demontage- und Ersatzteilkosten reduziert werden.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung der Demontagezeit bei Teileaustausch
- Erleichterung der Integration der Demontage in den Montageablauf

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand (auszutauschende Bauteile müssen vorab identifiziert werde)

Zielwirkung

- Reduzierung der Demontagekosten
- Reduzierung der Demontagezeiten
- Steigerung der Kundenzufriedenheit

Steckbrief Gestaltungsansatz: Einfache Bewegungsmuster beim Fügen

Beschreibung und Vorgehensweise

Eine montagegerechte Konstruktion beinhaltet die Realisierung von einfachen Bewegungsmustern beim Fügen.

Einfache Bewegungsmuster beinhalten ein Minimum von Bewegungen bei der Montagetätigkeit. Die ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes ist eine Verpflichtung des Arbeitgebers.

Werkzeuge und Bauteile sind so anzuordnen, dass die Teile in Reichweite des Montagemitarbeiters sind. Körperdrehungen und aufwendige Bewegungsabläufe werden dadurch vermieden.

Durch die ergonomische Gestaltung der Montageaufgabe wird der Ermüdungsgrad der Montagemitarbeiter gesenkt. Zudem ist die Ausschussquote gegenüber nicht optimal gestalteten Arbeitsplätzen deutlich geringer.

Einfache Bewegungsmuster beim Montieren sind insbesondere zu realisieren, wenn ein Großteil der Montagevorgänge nicht automatisiert erfolgt und die Ergonomie des Arbeitsplatzes von erhöhter Bedeutung ist.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung der Ausschussquote
- Motivierte, leistungsfähige Montagemitarbeiter

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand
- Erhöhter Arbeitsplatz-gestaltungsaufwand

Zielwirkung

- Steigerung der Produktqualität
- Steigerung der Liefertreue durch geringere Ausschussquote
- Reduzierung von Ermüdungserscheinungen beim Montagemitarbeiter

Steckbrief Gestaltungsansatz: Gut zugängliche Griffstellen

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Ausbildung von gut zugänglichen Griffstellen und -punkten ist ein Ansatz der montagegerechten ergonomieorientierten Einzelteilgestaltung.

Eine Erleichterung für den Montagemitarbeiter bilden Griffstellen sowie -punkte in Schwerpunktnähe. Da die ergonomische Betrachtung der Schnittstelle zwischen Mensch und Montageobjekt im Rahmen der Produktgestaltung als unverzichtbar für den Erfolg in der Fertigung gilt, kann dieser Aspekt zur Steigerung des Montageerfolgs beitragen.

Durch die ergonomische Gestaltung der Montageaufgabe wird der Ermüdungsgrad der Montagemitarbeiter gesenkt. Zudem ist die Ausschussquote und Fehlerhäufigkeit gegenüber nicht optimal gestalteten Arbeitsplätzen deutlich geringer.

Die Vereinheitlichung der Abmessungen von Griffstellen reduziert des Weiteren die Anzahl der erforderlichen Greifwerkzeuge, was insbesondere auch zu geringeren Umrüstzeiten führt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung der Ausschussquote
- Motivierte, leistungsfähige Montagemitarbeiter

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand

Zielwirkung

- Steigerung der Produktqualität
- Steigerung der Liefertreue durch geringere Ausschussquote
- Reduzierung von Ermüdungserscheinungen beim Montagemitarbeiter

Steckbrief Gestaltungsansatz: Prüf- und testfreundliche Montageobjektgestaltung

Beschreibung und Vorgehensweise

Im Rahmen der Fertigung und Montage ist die Prüfbarkeit der Bauteile nach jeder Bearbeitungsstufe sicherzustellen. Es sind mess- und prüfgerechte Produkte und Teile zu gestalten um die hohen Prüfkosten zu verringern.

Die erfolgreiche Ausführung jedes Montageschrittes muss kontrollierbar sein und Kontrollfunktionen sollen bereits in den Fügeprozess integriert werden. Zur Realisierung prüfgerechter Bauteile sollte die Zusammenarbeit von Konstruktion und Qualitätssicherung verstärkt werden. Beispielsweise eignet sich die gemeinsame Aufstellung eines Qualitäts- und Prüfplans dazu, Konstruktionsänderungen noch in der Entstehungsphase zu veranlassen.

Beispiele für Gestaltungsregeln von mess- und prüffreundlichen Teilen sind:
- bei schnelllaufenden Rotoren ist rotationssymmetrisch zu konstruieren
- für Durchmesser-Messungen in Verzahnungen und Lagern sind gerade Wirkflächenzahlen vorzusehen

Neben den Konstruktionsregeln können beispielsweise vorprüfbare Bauteile oder bereits zu 100 % geprüfte Zukaufteile eingesetzt werden, um den Aufwand in der Montage gering zu halten. Dazu sind vorprüfbare Funktionsmodule zu definieren, die ohne Vorarbeiten montierbar sind.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung von erst in der Endprüfung identifiziertem Ausschuss
- Erhöhung der Montagequalität

Nachteile

- Erhöhter personeller und zeitlicher Aufwand im Rahmen der Erarbeitung von prüffreundlichen Montageobjektgestaltung

Zielwirkung

- Reduzierung der Prüfkosten
- Reduzierung der Ausschusskosten
- Erhöhung der Montageobjektqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Rationelle Verbindungsverfahren

Beschreibung und Vorgehensweise

Im Rahmen einer montagegerechten Produktgestaltung ist der Einsatz und die Realisierung rationeller Verbindungsverfahren zielführend. Rationelle Verbindungsverfahren fassen Verfahren zusammen, die den Montageaufwand reduzieren und vielseitig einsetzbar sind.

Ein Beispiel für ein rationelles Verbindungsverfahren sind Snap-in-Verbindungen. Snap-in-Verbindungen sind aus Montagesicht sehr effektiv, da für das Fügen nur eine geradlinige Presskraft erforderlich ist. Dabei muss zumindest das Teil mit dem Schnappelement aus Kunststoff sein. Die Entscheidung für eine lösbare oder nicht lösbare Schnappverbindung hängt von der Funktion des Bauteils ab.

Beispiels für bewährte Schnappverbindungen sind: Schnapphaken, Ringschnapper und Schnappkugel

Vorteile von rationellen Verbindungsverfahren sind die geringe Bearbeitungszeit zur Herstellung der Verbindung und die geringe Belastung des Montagemitarbeiters bei der Herstellung der Verbindung

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Effektive, vielseitige Verbindung
- Geringe Bearbeitungszeit zur Herstellung der Verbindung
- Geringe Belastung des Montagemitarbeiters

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand

Zielwirkung

- Reduzierung von Bearbeitungszeiten
- Steigerung der Variantenflexibilität
- Steigerung der Produktqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Reduzierung der Teileanzahl durch Bauteilintegration

Beschreibung und Vorgehensweise

Erhebliche Rationalisierungspotentiale liegen in der Reduzierung der Teileanzahl durch Bauteilintegration (Materialeinsparung) und der daraus folgenden Reduzierung der Montageschritte, wodurch die Zuverlässigkeit der Verbindung erhöht werden kann.
Kern des Potentials integrierter Baugruppen ist das Zusammenfassen mehrerer Funktionselemente in einem Bauteil.

Für die Identifizierung von integrierfähigen Bauteilen müssen diese gewissen Vorraussetzungen erfüllen:

- Müssen sich zwei miteinander in Verbindung stehende Bauteile bei der Wahrnehmung der Produktfunktion relativ zueinander bewegen? Ist Relativbewegung erforderlich?
- Müssen zwei miteinander in Verbindung stehende Bauteile aus unterschiedlichem Material sein? Sind unterschiedliche Materialien unumgänglich?
- Muss ein Bauteil von bereits montierten Teilen getrennt sein, weil sonst die Montage oder Demontage anderer Teile unmöglich ist? Ist Trennbarkeit aufgrund De-/ Montage notwendig?

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Geringerer Aufwand in der Produktionslogistik
- Gesteigerte Funktionssicherheit
- Verringerung des Materialeinsatzes

Nachteile

- Hoher Aufwand in der Produktentwicklung und -anpassung
- Risiko komplexer Bauteile
- Reduzierung der Möglichkeiten von Variantenbildung

Zielwirkung

- Reduzierung der Komplexität
- Vereinfachung und Verkürzung der Herstellprozesskette

Steckbrief Gestaltungsansatz: Vereinheitlichte Schnittstellen

Beschreibung und Vorgehensweise

Zur Vereinfachung der Montageaufgabe durch Standardisierung können Wiederholbaugruppen mit vereinheitlichten Schnittstellen eingesetzt werden.

Unter einem Wiederholteil sowie standardisierten Schnittstellen versteht man Teile sowie Schnittstellen, die in anderen Produkten bereits eingesetzt wurden. Dies können sowohl Produkte gleicher als auch unterschiedlicher Produktart sein.

Durch den Einsatz von Wiederholteilen mit vereinheitlichten Schnittstellen können Standardisierungseffekte realisiert werden.

Standardisierungseffekte führen sowohl zur Steigerung der Montagequalität und zur Reduzierung des Ausschuss als auch zur Reduzierung der Montagezeiten durch Erfahrungskurveneffekte.
Ein weiterer Vorteil ist die Steigerung der Variantenflexibilität und die Reduzierung von Schulungsaufwand durch variantenübergreifend standardisierte Schnittstellen.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Standardisierung von Schnittstellen
- Realisierung von Erfahrungs-kurveneffekten

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand

Zielwirkung

- Reduzierung von Montagezeiten
- Steigerung der Montagequalität
- Steigerung der Variantenflexibilität
- Steigerung der Mitarbeiterflexibilität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Vermeidung unnötig enger Toleranzen

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Konstruktion unnötig enger Toleranzen zwischen den Montagepunkten und der dadurch entstehende hohe notwendige Kraftaufwand beim Fügen erschweren den Montagevorgang erheblich.

Neben der Vermeidung von zu engen Toleranzen sollen zudem Überbestimmungen der Montagepunkte vermieden werden.

Um das Fügen zu vereinfachen, sind Baugruppen mit Fügetoleranzen zwischen den Montagepunkten zu vermaßen. Zur Vermeidung unnötig enger Toleranzen ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Konstruktion und Montage sinnvoll. Im Austausch der Mitarbeiter sind Toleranzen festzulegen, die die notwendigen Sicherheitsbestimmungen erfüllen und zudem die Montagetätigkeit erleichtern.

Die montageorientierte Gestaltung der Toleranzen reduziert zeitlichen Montageaufwand und erleichtert das Arbeiten für den Montagemitarbeiter.
Durch die Vermeidung von unnötig engen Toleranzen wird zudem der Ermüdungsgrad der Montagemitarbeiter gesenkt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung der Ausschussquote
- Motivierte, leistungsfähige Montagemitarbeiter

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand
- Erhöhter Abstimmungsauwand

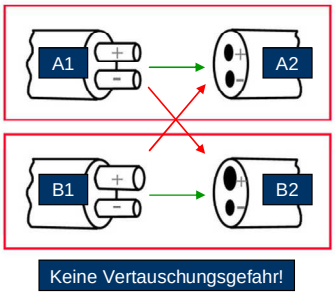
Zielwirkung

- Steigerung der Produktqualität
- Steigerung der Liefertreue durch geringere Ausschussquote
- Reduzierung von Ermüdungserscheinungen beim Montagemitarbeiter

Steckbrief Gestaltungsansatz: Vermeidung von verwechselbaren Bauteilen

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Vermeidung von verwechselbaren Bauteilen dient der Qualitätssicherung in der Fertigung. Dieser Ansatz ist der Null-Fehler Strategie zuzuordnen. Mit diesem Gestaltungsansatz soll vermieden werden, dass Bauteile sich zu stark ähneln und im Fertigungsprozess vertauscht werden können.
Deshalb soll durch auf einander abgestimmte Konstruktion, zum Beispiel durch ausgeprägte Unsymmetrie oder farbliche Kennzeichnung, dieser Verwechslungsgefahr vorgebeugt werden.



Keine Vertauschungsgefahr!

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Prospektive Fehlervermeidung
- Hohe Zuverlässigkeit
- Orientierung zum Einfachen
- Vermeidung von Wiederholungsfehlern

Nachteile

- Gefahr verminderter Aufmerksamkeit
- Widerspruch zur Teilevereinfachung

Zielwirkung

- Erhöhte Prozesssicherheit
- Schnelle Wirksamkeit bei niedrigen Kosten
- Wiederholfehler können ausgeschlossen werden

Steckbrief Gestaltungsansatz: Einsatz von Gleichteilen

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter Gleichteilen werden die identischen Komponenten eines Produktordnungssystems verstanden, die variantenunabhängig sind und Varianten übergreifend eingesetzt werden. Synonym wird auch der Begriff Wiederholteile verwendet.

Das Ziel der Verwendung von Gleichteilen zur Ausgestaltung des Produktprogramms ist, möglichst viele identische oder ähnliche Bauteile innerhalb des Produktordnungssystems zu verwenden. Daraus ergibt sich im Montagevorgang eine Steigerung der Effizienz durch Standardisierung.

Die Standardisierung durch Gleichteile führt in der Montage zu geringeren Fehlerquoten und damit einer höheren Produktqualität. Zusätzlich werden Bearbeitungs- und Durchlaufzeiten und Kosten in der Montage reduziert.

Im Rahmen der Gleichteilestrategie ist zu berücksichtigen, dass Gleichteile ein breites Spektrum an Funktionen erfüllen und vielfältigen Anforderungen genügen müssen. Daher ist es notwendig, den idealen Grad an Gleichteilen zu bestimmen. Dabei sind die Stück-, Lagerhaltungs-, Rüst- und indirekten Komplexitätskosten zu berücksichtigen.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung von Fehlerquoten in der Montage
- Reduzierung von Beschaffungskosten durch Mengenvorteile

Nachteile

- Teilweise Steigerung der indirekten Komplexitätskosten durch hohe Anforderungen an Funktionen der Gleichteile

Zielwirkung

- Reduzierung von Montage- und Beschaffungskosten
- Erhöhung der Montagequalität durch Standardisierung im Montageablauf
- Steigerung der Mengen- und Produktflexibilität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Einsatz von Modulen und Systemen

Beschreibung und Vorgehensweise

Module sind Baugruppen, deren Vormontageumfang deutlich höher als ihr Einbauumfang in die übergeordnete Baugruppe ist. Zur Realisierung werden verschiedene Einzelfunktionen eines Produkts in einem Modul zusammengefasst. Module weisen in der Regel standardisierte Schnittstellen auf und können dadurch an verschiedenen Stellen der Produktprogrammrealisierung eingesetzt werden. Die Modularisierung von Produkten hat zum Ziel durch die Reduzierung der Varianten, bereits bei der Gestaltung des Produktordnungssystems Komplexität in der Produktion zu vermindern und zu vermeiden.

Der Vorteil von Modulen ist, dass in der Montage anstatt vieler Einzelbauteile ein vollständiges, vorprüfbares Modul integriert wird, was den Montageaufwand reduziert. Durch eine einfache Gestaltung der Modulschnittstelle wird die Montage zusätzlich unterstützt.

Systeme sind im Gegensatz zu Modulen Einheiten, die eine bestimmte Funktion vollständig abdecken. Systeme sind wie auch Module vorprüfbare Bauteile mit einer definierten Funktion.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Durch die Vorprüfbarkeit der Module und Systeme erhöht sich die Gesamtqualität des Produkts
- Reduzierung der Montagekomplexität

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand
- Enge Zusammenarbeit mit Zulieferer ist notwendig

Zielwirkung

- Steigerung der Produktqualität
- Steigerung der Variantenflexibilität
- Reduzierung des Montageaufwands und damit der Montagekosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Einsatz von Plattformen

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Plattformstrategie basiert auf einer modularen Produktarchitektur. Eine Produktplattform bildet eine funktional und räumlich abgeschlossene Einheit, die sich aus einer bestimmten Anzahl von Komponenten und Schnittstellen zusammensetzt. Diese bilden eine standardisierte Struktur, auf deren Grundlage unterschiedliche Produkte effizient entwickelt und produziert werden können. Die Plattform kommt somit bei mehreren Produkten zum Einsatz. Die Folge ist eine hohe Wiederholhäufigkeit von Arbeitsschritten in der Fertigung und Montage.

Zur Realisierung von Plattformen sind redundante Module (redundant bzgl. der Funktion) von Produkten auf eine Plattform zu übertragen

Die Realisierung von Plattformen führt zu Skalen- und Erfahrungskurveneffekten in der Montage und dadurch zu einer Verbesserung der Zielparameter Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität. Jedoch benötigt die Erarbeitung von Plattformen eine längere Entwicklungszeit. Produkte, die auf einer bereits entwickelten Plattform basieren können demgegenüber in einer kürzeren Zeit entwickelt werden.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung von Entwicklungszeiten
- Standardisierung der Montageaufgabe und Realisierung von Erfahrungskurven-effekten

Nachteile

- Erhöhter Entwicklungs-aufwand zur Realisierung der Plattform

Zielwirkung

- Reduzierung der Montagekosten
- Reduzierung der Entwicklungskosten (langfristig)
- Steigerung der Montagequalität
- Steigerung der Variantenflexibilität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Realisierung der Baukastenstrategie

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter einem Baukasten wird ein System definiert, das aus einer definierten Anzahl unterschiedlicher Elemente, den Bausteinen besteht. Durch das Zusammensetzen der Bausteine kann auf Basis eines Ordnungssystems eine hohe Anzahl von Produkten zusammengesetzt werden. Die einzelnen Bausteine können über Schnittstellen zusammengefügt werden, wodurch größere Bauteile und Produkte ausgestaltet werden können.

Ziel der Baukastenstrategie ist, die für das finale Baukastenprodukt am häufigsten zu erstellenden Teilfunktionen (Bausteine) zu erkennen und zusammenzufassen. Für diese soll eine möglichst große zu fertigende Stückzahl entstehen. Zudem sollen selten benötigte Teilfunktionen (Bausteine) abgetrennt werden, um häufig benötigte Gesamtfunktionen nicht mit deren Kosten zu belasten.

Das Risiko und der Aufwand bei der Entwicklung eines Baukastensystems sind hoch, weshalb systematisch vorgegangen werden muss.

Folgende Phasen sind bei der Entwicklung eines Baukastensystems zu durchlaufen

1. Planen des Baukastensystems (Analyse des IST-Zusands)
2. Entwickeln der Baukastenstruktur (Analyse der Beziehungen zwischen den Bauteilen)
3. Entwickeln der Bausteine und Baukastenprodukte

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Reduzierung der Montagezeiten bei gleichbleibender Montagequalität.
- Erhöhung des Serien-charakters der Montage
- Reduzierung von Produktkosten

Nachteile

- Risiko bei der Ausgestaltung eines Baukastensystems
- Hoher Zeit- und Konstruktionsaufwand

Zielwirkung

- Reduzierung der Montagekosten
- Reduzierung der Montagezeiten
- Erhöhung der Variantenflexibilität durch variantenspezifische Baukastenteile

Steckbrief Gestaltungsansatz: Realisierung von Produktfamilien

Beschreibung und Vorgehensweise

Eine Produktfamilie wird als Menge individueller Produkte definiert, die auf einer gemeinsamen Grundlage basieren und die trotzdem spezifische Eigenschaften und Funktionen aufweisen.

Die zu Grunde liegende Ansatz besteht darin, das Konzept der Gleichteile sowohl über Produktlebenszyklen als auch Produktreihen hinweg zu realisieren. Die weitgehende Produktähnlichkeit innerhalb einer Produktfamilie erlaubt die Verwendung schon konzipierter oder vorhandener Montagesysteme und erhöht den Wiederholungsgrad von Montageschritten.

Kriterien zur Beschreibung einer Familienähnlichkeit sind beispielsweise:

- Produkt-Geometrie (z. B. Gewicht)
- Produkt-Komplexität (z. B. Anzahl montierter Teile)
- Handhabung (z. B. Schutzbedürftigkeit einzelner Teile)
- Produkt-Funktionalität (z. B. Prüfanforderungen)

Die erhöhte Standardisierung führt zur Erhöhung der Montagequalität und Reduzierung von Durchlaufzeiten in der Montage

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Standardisierung im Montageablauf
- Wiederverwendung bereits bestehender Montagemittel möglich

Nachteile

- Erhöhter Aufwand zur Bildung geeigneter Produktfamilien

Zielwirkung

- Erhöhung der Produktqualität
- Erhöhung der Prozessqualität
- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Reduzierung von Montagekosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts

Beschreibung und Vorgehensweise

Mit dem Variantenbestimmungspunkt wird der Punkt in der Wertschöpfungskette bezeichnet, bei dem zum ersten Mal festgelegt wird, welche Variante produziert wird.

Zielführend ist es, den Variantenbestimmungspunkt möglichst an das Ende des Entstehungsprozesses eines Produkts zu legen, da dies eine hohe Standardisierung des Montageprozesses und eine hohe Flexibilität bei der Reaktion auf Kundenwünsche generiert. Die Verlagerung des Variantenbestimmungspunkts wird häufig in Kombination mit der Realisierung der Baukastenstrategie verwirklicht.

Zur Identifikation des geeigneten Variantenbestimmungspunkts eignet sich die Erstellung eines Variantenbaums, mit dessen Hilfe die Montageschritte bis zur Entstehung der finalen Varianten aufgezeigt werden Der ideale Variantenbaum ist zu Anfang sehr schlank und verästelt sich erst am Schluss.

Ein derartiges Variantenmanagement hat zum Ziel, die Komplexität bei der Leistungserstellung zu reduzieren und trotzdem die vom Kunden geforderte Leistungsvielfalt zu realisieren. Zusätzlich führt die Verlagerung zu einer Homogenisierung der Produktionsabläufe und damit zu einer Steigerung der Effektivität in der Montage.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Vereinfachte und damit geringer störanfällige Montage
- Hohe Flexibilität bei der Reaktion auf Kundenwünsche

Nachteile

- Erhöhter Konstruktionsaufwand bei der Ausgestaltung eines geeigneten Variantenspektrums

Zielwirkung

- Steigerung der Prozessqualität
- Steigerung der Produktqualität
- Reduzierung der Montagekosten
- Steigerung der Variantenflexibilität
- Erhöhung der Liefertreue

Steckbrief Gestaltungsansatz: Verwendung von Standard- und Normteilen

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Verwendung von Standard- und Normteilen zur Realisierung des Produktprogramms vereinfacht in der Regel den Montagevorgang.

Standard- und Normteile sind Teile, die häufig in den Produkten eines Unternehmens eingesetzt werden. Die Teile können sowohl zugekauft als auch im Unternehmen hergestellt werden.

Der Vorteil des Einsatzes von von Standard- und Normteilen für die Montage ist die hohe Wiederholhäufigkeit der Handhabung der Teile und die geringe Verwechslungsgefahr, wenn für ähnliche Montageschritte die gleichen Standardteile verwendet werden. Zudem sind Normteile erprobt, entsprechen dem Stand der Technik und sind zudem kurzfristig kostengünstig und ab Lager lieferbar. Ein weiterer Vorteil von Standard- und Normteilen ist die Eignung dieser Teile für Standardwerkzeuge. Die hohe Standardisierung der Teile reduziert zudem die Konstruktionskosten, da keine neuen Lösungen für bspw. Verbindungen entwickelt werden müssen.

Durch den Einsatz von Standard- und Normteilen kann sowohl die Montagezeit reduziert, als auch die Montagequalität und -flexibilität erhöht werden.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 2: montageorientierte Produktgestaltung

Vorteile

- Normteile sind erprobt und die Austauschbarkeit ist sichergestellt
- Normteile sind kurzfristig lieferbar
- Normteile entsprechen dem Stand der Technik

Nachteile

- Normen können geändert werden und führen zu Änderungs-notwendigkeiten
- Normen sind länderspezifisch und regionale Normen sind zu berücksichtigen

Zielwirkung

- Erhöhung der Liefertreue
- Erhöhung der Montagequalität
- Erhöhung der Mengenflexibilität
- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Reduzierung der Konstruktionskosten

Anhang 15 – Gestaltungsansätze zur Montageorganisationsform

Steckbrief Gestaltungsansatz: Baustellenmontage

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Baustellenmontage wird auch als Platzmontage bezeichnet. Bei der Platzmontage sind sowohl das Montageobjekt als auch der Arbeitsplatz unbewegt. Findet keine Arbeitsteilung statt, wird von einer Einzelplatzmontage gesprochen. Wenn das Montageobjekt von einem oder mehreren Monteuren stufenweise montiert wird, liegt demgegenüber eine Baustellenmontage vor. Sowohl für die Einzelplatz- als auch die Baustellenmontage gilt, dass keine Ablaufalternativen auftreten, da stationär montiert wird.

Die Baustellenmontage ist also durch stationäre Montageobjekte gekennzeichnet, die an der Baustelle montiert werden. Der Monteur oder die Monteure sind der Baustelle fest zugeordnet.

Baustellenmontage wird eingesetzt bei schwer beweglichen komplexen Produkten. Die Montagetätigkeiten sind manuell und werden entweder allein, oder in der Gruppe ausgeführt bis das gesamte Produkt, oder große Teile davon fertig gestellt sind.

Die Baustellenmontage findet beispielsweise häufig im Maschinen- und Anlagenbau Anwendung.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 3: Montageorganisationsform

Vorteile

- Gute Flexibilitätseigenschaften (insbs. bzgl. des Mitarbeitereinsatzes)
- Geringer Planungs- und Steuerungsaufwand
- Gute Eignung für großvolumige Produkte oder komplexe Montageaufgaben

Nachteile

- Hoher Platzbedarf
- Lange Durchlaufzeiten
- Aufwändige Materialflussgestaltung
- Lange Einarbeitungszeiten für die Mitarbeiter

Zielwirkung

- Steigerung der Produktflexibilität
- Steigerung der Prozessqualität
- Realisierung komplexer Montageaufgaben möglich

Steckbrief Gestaltungsansatz: Gruppenmontage

Beschreibung und Vorgehensweise

Bei der Gruppenmontage ist das Montageobjekt ortsgebunden und die Montageplätze sind bewegt. Die Monteure wechseln bei dieser Organisationsform zwischen den einzelnen Montagestationen hin und her und erledigen jeweils einen definierten Teil des Gesamtmontageauftrags.

Beim Bewegungsablauf können zwei Alternativen unterschieden werden:
Wenn der Arbeitsumfang nicht gleichmäßig auf die Stationen verteilt ist, kann keine feste Taktzeit vorgegeben werden, d. h. es wird aperiodisch gewechselt. Die Bewegung ist ungerichtet, da sie vom Arbeitsfortschritt an der jeweiligen Station bestimmt wird und somit die einzelnen Monteure ihre Arbeiten in unterschiedlicher Stationsfolge erledigen.
Bei gleichen Arbeitsumfängen an allen Stationen werden diese nach Ablauf der festgelegten Taktzeit gewechselt. Der Bewegungsablauf ist in diesem Fall periodisch und die Bewegung aufgrund der gleichen Stationsfolge gerichtet.

Die Gruppenmontage wird beispielsweise häufig in der Einzel- und Kleinserienfertigung realisiert.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 3: Montageorganisationsform

Vorteile

- Durchlaufzeiten sind geringer als bei der Baustellenmontage
- Montagegruppen mit fachlich unterschiedlicher Qualifikation sind realisierbar

Nachteile

- Zentrale Materialbereitstellung ist nur mit hohem Aufwand realisierbar
- Arbeitsteilung ist nötig
- Störungen im Arbeitsablauf sind tlw. schwer zu überbrücken

Zielwirkung

- Steigerung der Variantenflexibilität gegenüber Fließmontagen
- Steigerung der Produktqualität durch Verstärkte Eigenverantwortung der Mitarbeiter

Steckbrief Gestaltungsansatz: Reihenmontage

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Reihenmontage ist eine Montage mit einem bewegten Montageobjekt, und damit eine gleitende Montage. Die gleitende Montage setzt das Fließprinzip um, was bedeutet, dass die Montageplätze aufgabenausgerichtet oder gemäß der Arbeitsvorgangsfolge angeordnet sind. Dies macht sie zeitlich voneinander abhängig.

Die Reihenmontage ist eine Montageorganisationsform der Fließmontage mit einem stationären Montageplatz.

Bei der Reihenmontage herrscht kein Taktzwang und die zeitliche Abhängigkeit der Arbeitsschritte ist dadurch gering. Aufgrund der aufgabenausgerichteten Aufstellung der Montagestationen ist die Bewegung der Montageobjekte jedoch gerichtet. Der auf die Stationen aufgeteilte Arbeitsumfang kann variieren, weshalb die Reihenmontage die flexibelste Form der Fließmontage darstellt.

Um die zeitliche Abhängigkeit zusätzlich zu reduzieren, können Puffer zwischen den Montagestationen eingerichtet werden. Puffer haben die Funktion, Zwischenprodukte der vorgelagerten Station aufzunehmen, zu speichern und im Montagerhythmus der nachgelagerten Station zuzuführen.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 3: Montageorganisationsform

Vorteile

- Variantenflexibilität ist höher als bei getakteter Fließmontage (Montageschritte können übersprungen werden)
- Geringe Durchlaufzeiten
- Hohe Kapazitäts-auslastung

Nachteile

- Kapitalbindung durch kleine Zwischenlager
- Geringe Produktlinienflexibilität

Zielwirkung

- Reduzierung der Durchlaufzeiten gegenüber Gruppenmontage
- Erhöhung der Variantenflexibilität gegenüber der getakteten Fließmontage

Steckbrief Gestaltungsansatz: Getaktete Fließmontage

Beschreibung und Vorgehensweise

Die getaktete Fließmontage ist eine Montage mit einem bewegten Montageobjekt, und damit eine gleitende Montage. Die gleitende Montage setzt das Fließprinzip um, was bedeutet, dass die Montageplätze aufgabenausgerichtet oder gemäß der Arbeitsvorgangsfolge angeordnet sind. Dies macht sie zeitlich voneinander abhängig.

Die getaktete Fließmontage wird auch Taktstraßenmontage oder starre Fließmontage genannt und ist die starrste Form der Fließmontage.

Die getaktete Fließmontage weist einen stationären Montageplatz auf. Zudem wird eine Taktvorgabe definiert, die von den Mitarbeitern und Betriebsmitteln einzuhalten ist. Die Arbeitsteilumfänge werden so auf die einzelnen Stationen verteilt, dass die Zeitbedarfe je Takt möglichst identisch sind. Da zwischen den Stationen keine Puffer gebildet werden, ist der kontinuierliche Bewegungsablauf ein wesentliches Kennzeichen der Taktstraßen- oder getakteten Fließmontage.

Die getaktete Fließmontage wird in der Regel in der Großserien- und Massenfertigung eingesetzt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 3: Montageorganisationsform

Vorteile

- Kurze Durchlaufzeiten
- Hohe Kapazitätsauslastung der Betriebsmittel
- Möglichkeit der Automatisierung ist gegeben

Nachteile

- Hoher Kapazitätsbedarf und hohe Stückzahlen erforderlich für wirtschaftlichen Einsatz
- Geringe montagetechnische Flexibilität

Zielwirkung

- Reduzierung der Durchlaufzeiten
- Reduzierung der Montagekosten je zu montierendes Produkt

Anhang 15 – Gestaltungsansätze zur Montagefeinplanung

Steckbrief Gestaltungsansatz: An Montageschritten orientierte Teilebereitstellung

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Teilebereitstellung hat die Aufgabe, die richtigen Teile, in der richtigen Menge zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Platz bereitzustellen. Eine Möglichkeit der Teilebereitstellung ist die an den Montageschritten orientierte, geordnete Teilebereitstellung.

Eine geordnete, am Montageauftrag orientierte Bereiststellung wird vorwiegend bei hoher Typen- und Variantenvielfalt eingesetzt. Auf Basis der Fertigungsaufträge werden dabei die notwendigen Bauteile kommissioniert und auftragsbezogen in der richtigen Montagereihenfolge bereitgestellt.

Die Realisierung dieses Gestaltungsansatzes vermeidet aufgrund der geringen Verwechslungsgefahr Fehler durch die Auswahl falscher Montageteile und reduziert zusätzlich die Durchlauf- und Bearbeitungszeiten durch eine Verringerung der Suchzeiten. Zudem werden Restbestände an den Montagearbeitsplätzen vermieden.

Nachteilig ist der hohe Steuerungs- und Kommissionier-aufwand, der durch die Anwendung des Konzepts im Rahmen der Bereitstellung anfällt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Vermeidung von Verwechslungen bei der Montage
- Verringerung von Teile-Suchzeiten

Nachteile

- Hoher Steuerungs-aufwand
- Hoher Kommissionier-aufwand

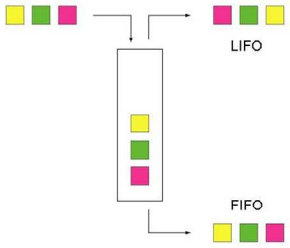
Zielwirkung

- Reduzierung von Durchlauf- und Bearbeitungszeiten im Bereich der Montage (jedoch höhere Kommissionierzeiten)
- Steigerung der Produktqualität durch Vermeidung von Teileverwechslungen

Steckbrief Gestaltungsansatz: First-in-first-out

Beschreibung und Vorgehensweise

First-in-first-out läuft nach dem Prioritätsprinzip (Priorität) der Warteschlangentheorie ab. Das Prinzip gibt eine bestimmte Reihenfolge für zu entnehmenden Materialien und Hilfsstoffe aus Regalen vor. Dabei werden zuerst Teile entnommen, die auch zuerst auf Lager gelegt wurden. Dieses Prinzip steht im Gegensatz zum konventionellen Last-In, First-Out (LIFO) -Prinzip, bei dem die zuletzt eingelagerten Teile auch als erstes wieder entnommen werden. Durch diese Handhabung entsteht ein hohes Potential für Qualitätsprobleme durch Schlagkerben etc. sowie die Veralterung der Bauteile. Ein konsequentes Disponieren nach dem FIFO-Prinzip vermeidet diese Probleme weitestgehend.



Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Vermeidung von „Ladenhütern“ und damit hohen Altbeständen
- Einfache Implementierung

Nachteile

- Konstante Sicherstellung der Reihenfolgeeinhaltung
- Reduzierung der Flexibilität bei der Auswahl von Bauteilen

Zielwirkung

- Festlegung eines Reihenfolgeprinzips
- Vermeidung von Veralterung der Gegenstände
- Steigerung der Produktqualität
- Steigerung der Prozessqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Just-in-Sequence (1)

Beschreibung und Vorgehensweise

Man spricht von Just-in-Sequence (JIS), wenn Teile zu dem Zeitpunkt, zu dem sie verbaut werden sollen, durch einen externen Lieferanten in der richtigen Reihenfolge (sequenzgerecht) angeliefert werden. JIS ist eine Weiterentwicklung des Just in Time-Gedankens und auch der Direktbelieferung der Linie. Bei der Bereitstellung nach dem JIS-Verfahren sorgt der Zulieferer nicht nur dafür, dass die benötigten Module rechtzeitig in der notwendigen Menge angeliefert werden, sondern auch, dass die Reihenfolge (Sequence) der benötigten Module stimmt.

Ziel des JIS-Gedankens ist die verbrauchsorientierte Anlieferung der Materialien. JIS eignet sich für kundenindividuelle, varianten- und volumenreiche Komponenten bzw. Module.

Vorgehensweise bei der Realisierung:

- Identifikation der geeigneten Materialien durch eine kombinierte ABC / XYZ-Analyse
- Synchronisation der inner- und zwischenbetrieblichen Abläufe bei Abnehmer und Lieferant
- Überprüfung der Maschinen- und Personalkapazität
- Sicherstellen, dass der notwendige zusätzliche Kommunikationsaufwand mittels eines EDImanagers stattfindet.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung der Bestände des Abnehmers
- Hohe Teileintegration

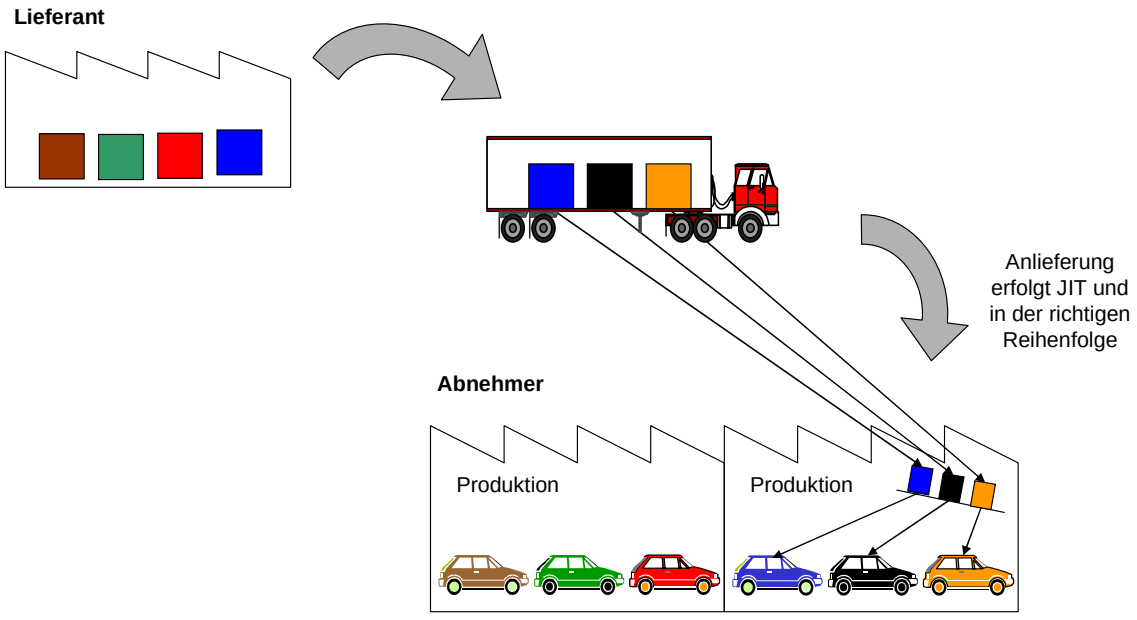
Nachteile

- Hohe Steuerungskosten und zeitlicher Steuerungsaufwand
- Restrisiko in Notfallsituationen (Extremfall: Stillstand der Produktion)

Zielwirkung

- Reduzierung der Kosten beim Abnehmer durch reduzierte Kapitalbindung und geringeren Flächenverbrauch durch Verringerung der Bestände und Lagerstufen
- Reduzierung der Durchlaufzeiten sowie der Komplexität beim Abnehmer.

Steckbrief Gestaltungsansatz: Just-in-Sequence (2)



Steckbrief Gestaltungsansatz: Just-in-Time

Beschreibung und Vorgehensweise

Bei Just in Time (produktionssynchrone Beschaffung) wird versucht, die Lagerhaltung zu vermeiden, indem das richtige Material in der richtigen Menge und Qualität unmittelbar zum richtigen Zeitpunkt in der Fertigung angeliefert wird. Dadurch wird ein Teil der Kapital- und Lagerkosten auf den Lieferanten verlagert. Eine partnerschaftliche Zusammenarbeit hinsichtlich Menge, Qualität und Termin bringt Vorteile für beide Seiten.

Ziel von JIT ist die verbrauchsorientierten Anlieferung der Materialien. Für JIT sind insbesondere Materialien mit einer hohen Verbrauchsstetigkeit und einem hohen Teilewert geeignet.

Vorgehensweise bei der Realisierung:

- Identifikation der geeigneten Materialien durch eine kombinierte ABC / XYZ-Analyse
- Synchronisation der inner- und zwischenbetrieblichen Abläufe bei Abnehmer und Lieferant
- Überprüfung der Maschinen- und Personalkapazität
- Sicherung der Qualität, um Lieferterminverzögerungen zu vermeiden

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung der Bestände des Abnehmers
- Hohe Teileintegration

Nachteile

- Hohe Steuerungskosten und zeitlicher Steuerungsaufwand
- Restrisiko in Notfallsituationen (Extremfall: Stillstand der Produktion)

Zielwirkung

- Reduzierung der Kosten beim Abnehmer durch reduzierte Kapitalbindung und geringeren Flächenverbrauch durch Verringerung der Bestände und Lagerstufen
- Reduzierung der Durchlaufzeiten sowie der Komplexität beim Abnehmer.

Steckbrief Gestaltungsansatz: Kanban (I)

Beschreibung und Vorgehensweise

KANBAN ist ein Konzept zur Steuerung des Materialflusses, das auf dem verbrauchsgesteuerten Hol-Prinzip basiert. Die Produktion oder Beschaffung von Bauteilen wird dabei nur durch den Verbrauch der nachgelagerten Stelle ausgelöst. Informations- und Materialfluss laufen gegenläufig.

Ausgangspunkt für einen Fertigungsauftrag ist somit der Kunde Die Produktion erfolgt auftragsorientiert.

Die Produktion funktioniert über Selbststeuerung der Mitarbeiter in der Fertigung durch klare Regeln und visuelle Anzeigen.

Prüfung der KANBAN-Fähigkeit erfolgt durch eine Analyse nach folgenden Kriterien:

- Vorhersagegenauigkeit / Verbrauchsstetigkeit
- Produktstruktur / Variantenentstehung
- Fertigungsstruktur
- Fertigungstechnologie
- Fertigungsqualität
- Materialfluss
- Beschaffung

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung der Materialbestände
- Erhöhung der Verfügbarkeit für nachfolgende Prozesse.
- Verantwortung innerhalb sich selbst steuernder Regelkreise

Nachteile

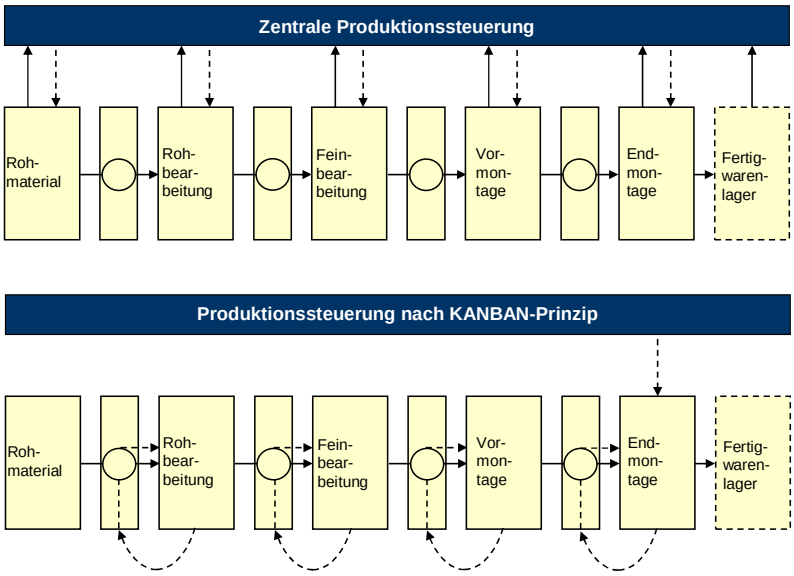
- Erhöhter Aufwand bei der Implementierung von Kanban
- Nicht für alle Materialgruppen geeignet

Zielwirkung

- Reduzierung der Durchlaufzeiten
- Steigerung der Liefertreue
- Verringerung der Bestandskosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Kanban (II)

Quelle: Wildemann, H.



gegenläufiger Informations- und Materialfluss

Steckbrief Gestaltungsansatz: Milkrun (I)

Beschreibung und Vorgehensweise

Logistikkosten und -leistung bestimmen heute in zunehmendem Maß den Preis von Produkten.

Das Milkrun-Konzept zielt auf eine Senkung der Logistikkosten durch flexible Zusammenstellung optimaler Touren von Seiten der Industrieunternehmen. Ziel ist die Umgehung von Konsolidierungspunkten zur Reduzierung der Fahrtenanzahl und der Transportkilometer bei optimaler Auslastung der LKW.

Bei der Implementierung gilt es folgende Determinanten zu berücksichtigen:

- Ermittlung der geeigneten Lieferanten
- Bildung und Auswahl von Milkrun-Optionen unter Berücksichtigung der Milkrun-Restriktionen maximale Anzahl Lieferanten, Gewicht und Volumen, optimale Auslastung
- Ausplanung berücksichtigt folgende Aspekte: Route, Zeitplan mit Zeitfenster, Volumenkontingente
- Potenzial-Ermittlung, Umsetzungsentscheidung
- Umsetzung erfolgt in mehreren Schritten: Lieferanten-Workshop, Erarbeitung Milkrun-Schedule, Versand-anweisungen, Testlauf

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Minimierung von Verschwendung
- Reduzierung der Wartezeiten bei Be- und Entladung
- Verbesserte Kommunikation Kunde - Spediteur - Lieferant

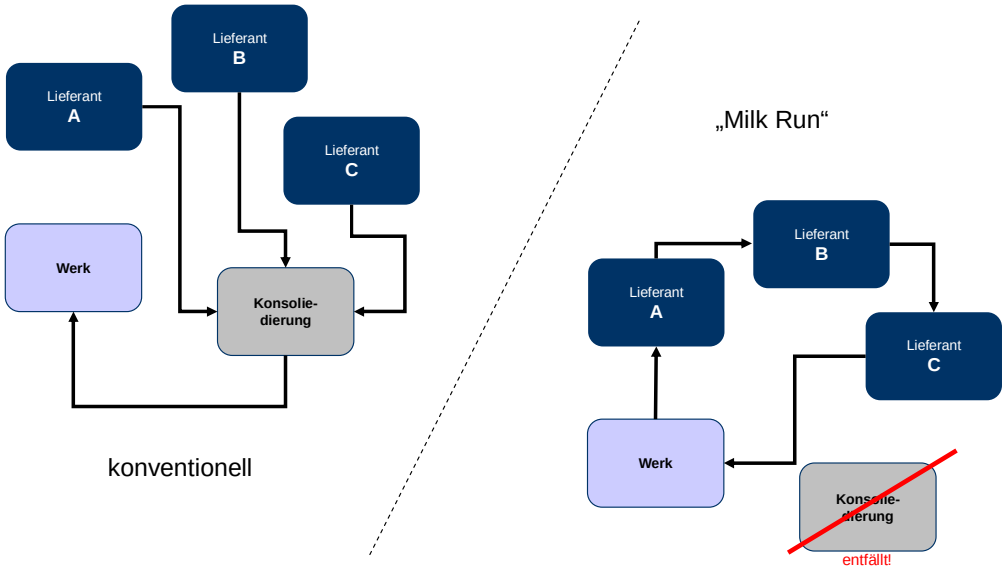
Nachteile

- Hoher Koordinationsaufwand
- Abhängigkeit der Straßenverhältnisse und der Fremdteilefertigung
- Große Abhängigkeit vom Lieferanten

Zielwirkung

- Einsparungen u.a. durch …
  bessere Ausnutzung der Transportkapazitäten
  weniger und kürzere Fahrten
- Integration des Leergut-Rückflusses
- Erhöhung der Liefertreue

Steckbrief Gestaltungsansatz: Milkrun (II)

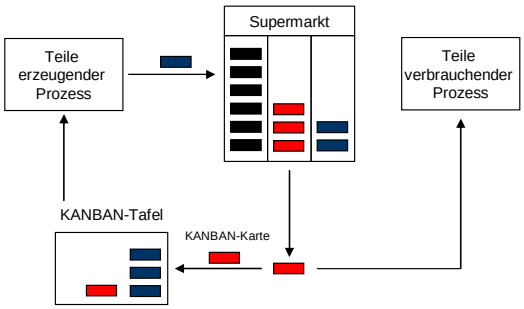


Steckbrief Gestaltungsansatz: Supermarkt

Beschreibung und Vorgehensweise

Mit Supermarkt bezeichnet man ein Instrument zur selbständigen Produktionssteuerung. Beim Supermarkt handelt sich um einen zentralen Platz für Halbfertigprodukte in der Fertigung. Nur wenn der nachgelagerte Prozess Teile aus dem Supermarkt entnommen hat, wird in einer definierten Stückzahl vom vorgelagerten Prozess gefertigt.

Der Supermarkt wird wie Kanban nur eingesetzt, wenn eine Verkettung von Arbeitsstationen oder Fertigungslinien über One-piece-flow nicht möglich ist.



Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Einfaches Mittel zur bedarfsorientierten Produktionssteuerung
- Vermeidung von Überproduktion, da Fertigung erfolgt, so lange ein 'Fach' im Regal des Supermarktes frei

Nachteile

- Komplexe Umsetzung
- Aufwendige Koordination von Versorgung der Verbrauchsstelle
- Nicht überall einsetzbar

Zielwirkung

- Selbständige Produktionssteuerung
- Verbauchsorientierte Fertigung von Teilen

Steckbrief Gestaltungsansatz: Visuelle und/oder akustische Kommissionierung

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter Kommissionierung wird das Zusammenstellen von bestimmten Teilmengen aus einer bereitgestellten Gesamtmenge auf Basis von Aufträgen verstanden. Im Rahmen der Kommissionierung kann es beispielsweise auf Grund sich häufig ändernder Varianten zu einer fehlerhaften Bereitstellung kommen.

Zur Unterstützung im Rahmen der Kommissionierung (durch den Kommissionierer oder den Montagemitarbeiter) eignen sich visuelle oder akustische Verfahren.

Ein bekanntes visuelles Verfahren ist das Pick-by-light-Verfahren. Dabei befindet sich an jedem Lagerfach eine Signallampe mit einem Display sowie mindestens einer Quittierungstaste. Steht der Kommissionierbehälter an der Pickposition, so leuchtet an demjenigen Lagerfach, aus welchem das Bauteil zu entnehmen ist, die Signallampe auf, und auf einem Display erscheint die zu entnehmende Anzahl.

Ein weniger kostenintensives visuelles Verfahren ist die farbliche Kennzeichnung von variantenspezifischen Bauteilen (z. B. Bauteile für Variante A werden in roter Box gelagert).

Ein akustisches Verfahren ist Pick-by-Voice. Dabei bekommt der Mitarbeiter über Headset die einzelnen Positionen akustisch mitgeteilt.

Ein weiteres akustisches Verfahren ist das Auftreten eines Signaltons, wenn der Mitarbeiter ein Teil aus einer falschen Box entnimmt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Einfacherer Kommissionierung bei Varianten
- Suchzeit wird verringert
- Reduzierung von Pickfehlern (Teileart und Fehlteile)

Nachteile

- Erhöhte Investitionskosten (in Abhängigkeit vom gewählten Verfahren)
- Erhöhter Zeitaufwand im Rahmen der Implementierung des Systems

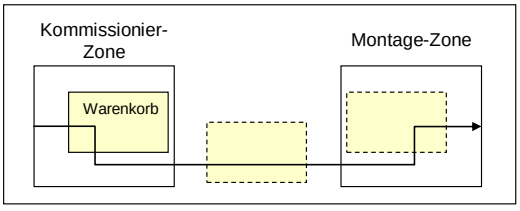
Zielwirkung

- Steigerung der Produktqualität
- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Steigerung der Prozessqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Warenkorbkonzepte

Beschreibung und Vorgehensweise

Das Warenkorbkonzept ist eine produktspezifische Zusammenstellung von benötigten Montageteilen. Die Füllung der Warenkörbe erfolgt durch individuelle Kommissionierung der wesentliche Komponenten. Die hervorgehende Erstellung einer Teileliste hilft dabei, auf die richtigen Komponenten zuzugreifen.
Die Produktteile werden für die Montage einbaufertig bereitgestellt. Sie begleiten in der Regel den gesamten Montageprozess vom ersten Produktionsschritt bis hin zu seiner letztendlichen Fertigstellung.
Dadurch können häufige Laufwege zu Materialbereitstellungszonen deutlich reduziert werden. Der Werker kann sich dabei in vollem Umfang auf die Montagereihenfolge und die Zusammen- oder Einbautätigkeit konzentrieren.



Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung der Laufwege für einzelne Komponenten
- Qualitätssteigerung
- Hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Montageprozesses

Nachteile

- Keine Bereitstellung von Großmodulen möglich
- Risiko bei Falschbestückung des Warenkorbs

Zielwirkung

- Reduzierung der Laufwege (Begleitung des Warenkorbs über gesamte Montage) und dadurch Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Vereinfachung des Montageprozesses und Steigerung der Prozessqualität
- Steigerung der Produktqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Fertigungssegmentierung

Beschreibung und Vorgehensweise

Ziel der Fertigungssegmentierung ist es, die Flexibilitätsvorteile der Einzelfertiger mit den Kostenvorteilen der Massenfertiger zu kombinieren.
Daraus ergibt sich die Notwendigkeit zur Umstrukturierung der Fertigung. Die Einteilung der Produkte ergibt "Renner„ mit Eigenschaften eines Massenfertigungsgutes und "Exoten" mit Eigenschaften der Einzelfertigung.
Die Fertigungssegmentierung hilft bei der Lösung des Dilemmas durch die Bildung kleiner Produktionseinheiten, um so den Bedürfnissen des Marktes gerecht werden. Es wird eine weitestgehende Autonomie der Fertigungssegmente angestrebt.

Die Realisierung von Fertigungssegmenten umfasst 5 Phasen:

- Abgrenzung der Segmente
- Integration indirekter Funktionen
- Layoutgestaltung
- Segmentexterne Schnittstellengestaltung
- Kosten- oder Ergebnisverantwortung.

Die Detailplanung berücksichtigt die Anforderungen der Planung und Steuerung sowie der Materialflussgestaltung.
Ansatzpunkte sind hier die Integration von Kanbanprinzipien, die Dimensionierung der Kapazitäten, die Teamorientierung und Selbstkontrolle der Montagequalität sowie die räumliche Konzentration der Betriebsmittel.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Kurze Transportwege und transparente Materialfluss-organisation
- Gemeinsame Problemlösung durch räumliche Nähe u. Kommunikationsmöglichkeit der Mitarbeiter
- Kapazitätsabgleich durch Aushilfe bei kurzfristigen Engpässen

Nachteile

- Planungsaufwand im Rahmen der Identifikation des geeigneten Segmentierungsansatzes (nach Produkt, Technologie etc.)

Zielwirkung

- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Erhöhung der Produkt- und Mengenflexibilität
- Erreichung kostenoptimaler Strukturen
- Minimierung der nicht-wertschöpfenden Zeit

Steckbrief Gestaltungsansatz: Flexibles Montage-Layout

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter einem flexiblen Montage-Layout versteht man eine Montageeinrichtung, mit der in beliebiger Reihenfolge unterschiedliche Produkte oder Produktvarianten montiert werden können. Dies kann durch die Integration programmierbarer Handhabungsgeräte, Füge- and Prüfeinrichtungen erreicht werden. Damit stehen flexible Montageanlagen in Konkurrenz zur manuellen Montage.

Flexible Montage-Layouts haben folgende Eigenschaften:

- Komplettmontage einer Produktfamilie
- Umrüstbarkeit bzgl. verschiedener Produkte
- Wiederverwendung nach Auslauf des Produkts

Zur Realisierung eines flexiblen Montage-Layouts werden die Flexibilität unterstützende Betriebsmittel eingesetzt. Beispiele dafür sind:

- Leicht transportierbare, nicht ortsfeste Montageanlagen und -aufbauten
- Programmierbare und/oder transportierbare Roboter (z. B. Einarmroboter)
- Programmierbare halbautomatisierte Montageanalgen

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Schnelle Anpassung von Montageprozessen
- Schnelle Umrüstung bei unterschiedlichen Produktfamilien
- Wiederverwendung von Standardbausteinen für neue Montageaufgaben

Nachteile

- Hohe Investitionskosten aufgrund von Montageroboter
- Aufwendige Standardisierung von Montagevorgängen notwendig

Zielwirkung

- Montage von Varianten in auftragsgebundener Reihenfolge durch beliebige Umprogrammierung => hohe Varianten- und Produktflexibilität
- Vielfältig einsetzbare Montagevorgänge

Steckbrief Gestaltungsansatz: Inselmontage

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Inselmontage ist eine Sonderform der Gruppenmontage.
Bei der Inselmontage werden Montagebereiche produktorientiert zusammengefasst. Die in der Insel zu montierenden Produkte werden in der optimalen Montagereihenfolge analog einer Reihenmontage montiert.

Je Montagebereich können verschiedene, an den Produkten orientierte Montageinseln realisiert werden. Die Insel wird in der Regel organisatorisch als Einheit betrachtet, gesteuert und abgerechnet. Der Austausch zwischen den Inseln erfolgt häufig nur durch explizit geplante Meetings der jeweiligen Inselverantwortlichen.

Teilweise wird die Inselmontage in Kombination mit der Trennung von Logistik und wertschöpfenden Tätigkeiten im Sinne eines U-Layouts realisiert.

Voraussetzung für die Bildung von Montageinseln ist eine hohe Mitarbeiterqualifikation, insbesondere dann, wenn die Montageinsel mit dem Prinzip des One-Piece-Flow oder One-Man-One-Unit kombiniert wird.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Hohe Mitarbeitermotivation durch teilautonome Arbeitsgruppen
- Kurze Transportwege und übersichtlicher Materialfluss
- Komplettbearbeitung möglich

Nachteile

- Hohe Anforderungen an die Montagemitarbeiter
- Durchführung von Hilfstätigkeiten durch teures Fachpersonal möglich
- Verlust von Information durch geringen Austausch zwischen Inseln

Zielwirkung

- Hohe Produktflexibilität
- Hohe Produktqualität durch Stärkung der Eigenverantwortung der Mitarbeiter

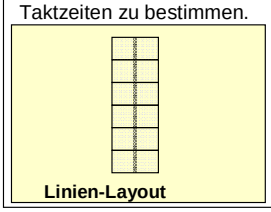
Steckbrief Gestaltungsansatz: Linien-Layout

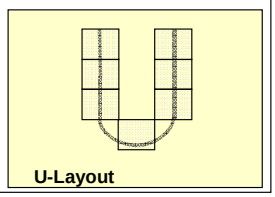
Beschreibung und Vorgehensweise

Unter einem Montagelayout in Linie wird ein Layout verstanden, bei dem die einzelnen Arbeitsstationen linear hintereinander angeordnet sind. Das zu montierende Produkt wird entlang einer linearen Kette von Arbeitsstation zu Arbeitsstation weitergegeben. Die Weitergabe kann manuell oder automatisiert erfolgen. Häufig geht einen Linien-Layout mit einer Fließbandmontage einher.

Manuelle Montagesysteme sind in der Regel nicht als Linie organisiert, da die Form des U-Layout sich als vorteilhafter erweist. Der Ablauf innerhalb des Linienlayouts ist getaktet um den durchgängigen Materialfluss sicherstellen zu können.

Im Rahmen der Planung eine Linien-Layouts sind somit insbesondere die Anzahl der Arbeitsstationen sowie die Taktzeiten zu bestimmen.


Linien-Layout


U-Layout

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Standardisierter, getakteter Materialfluss
- Geringe Durchlaufzeiten
- Mitarbeiter beherrschen Montageschritt

Nachteile

- Geringe Eigenverantwortung der Mitarbeiter
- Eintönigkeit der Montagetätigkeiten
- Geringe Flexibilität bei Störungen im Ablauf

Zielwirkung

- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Steigerung der Prozessqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Minimierung von Schnittstellen im Montageablauf

Beschreibung und Vorgehensweise

An Schnittstellen in der Montage werden Arbeitsvorgänge von der einen Hand in die andere übergeben. Jede solche Übergabe ist zwangsläufig mit dem Verlust von Informationen und mit dem Verlust eines ganzheitlichen Verständnisses für den Produkterstellungsprozess verbunden. Eine Schnittstelle im Prozessablauf hat in der Regel einen trennenden Charakter und eine hohe Schnittstellendichte in den Prozessen ist ein Komplexitätstreiber.

Eine hohe Anzahl von Schnittstellen führt zu Doppel- und Mehrfachaktivitäten, zu einem Übermaß an Kontrollvorgängen und zu langen Berichtswegen im Ablauf. Diese Aktivitäten sind nicht wertschöpfend. Zudem steigt mit der Anzahl der Schnittstellen die Störanfälligkeit des Prozesses. Ziel der Produktionsprozessgestaltung muss die Reduzierung von störanfälligen Schnittstellen sein.

Im Gegensatz zu voll standardisierten Abläufen ist nicht der Prozess am effizientesten, der sich aus den effizientesten Teilschritten zusammensetzt, sondern der, der eine ausgewogene Balance zwischen der Anzahl der Prozessschritte und einer optimalen Effizienz innerhalb der einzelnen Prozessschritte herstellt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Präzise Übergabezustände
- Kostenreduzierung
- Verringerung von Informationsverlusten an den Schnittstellen und dadurch Qualitätserhöhung

Nachteile

- Gefahr der Ineffizienzen innerhalb der einzelnen Schritte
- Reduzierung der Arbeitsteilung und dadurch Höher-qualifizierung der Mitarbeiter notwendig

Zielwirkung

- Steigerung der Prozessqualität
- Reduzierung von Durchlaufzeiten durch geringere Störanfälligkeit
- Minimierung der Beziehungskomplexität

Steckbrief Gestaltungsansatz: One-Piece-Flow

Beschreibung und Vorgehensweise

„One Piece Flow“ (OPF) oder zu deutsch sinngemäß „Mitarbeitergebundener Arbeitfluss“ (MAF), ist ein Arbeitssystem, dass beliebig zwischen verschiedenen Produktkonfigurationen wechseln kann. Dabei wird exakt in der Losgröße Eins produziert und nur das jeweilige Produkt fließt bedarfsgerecht entlang der Wertschöpfungskette im Unternehmen zum Kunden.

Der Grundgedanke eines OPF besteht darin, dass alle Mitarbeiter eines OPF alle in der OPF-Zelle anfallenden Arbeiten beherrschen, diese verrichten und dadurch für den Gesamtprozess der OPF-Zelle und das resultierende Produkt verantwortlich sind. Dabei sind mehrere Arbeitsplätze arbeitsteilig in der OPF-Zelle angeordnet. Der Mitarbeiter startet am ersten Arbeitsplatz und durchläuft die gesamte Zelle indem er sich mit dem Produkt von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz fortbewegt bis er den letzten Arbeitsplatz erreicht hat. Dort wird das Produkt in der Regel geprüft und weitergegeben. Der Mitarbeiter geht an den ersten Arbeitsplatz zurück und startet seinen Prozess von Neuem.

Erfolgsfaktoren des OPF sind die Beherrschung von Produktionsschwankungen von bis +/- 20% ohne Produktivitätsverluste.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- hohe Variantenflexibilität
- verringerte Lieferzeiten,
- verringerte Bestände und damit verringerter Flächenbedarf
- Steigerung der Produktver-antwortung der Mitarbeiter
- hohe Mitarbeitermotivation·

Nachteile

- Risiko bei hoher Nachfrage
- Hohe Mitarbeiter-qualifikation ist notwendig (alle Montageschritte müssen beherrscht werden)

Zielwirkung

- Steigerung der Variantenflexibilität
- Steigerung der Mengenflexibilität
- Reduzierung der Bestandskosten
- Steigerung der Produktqualität durch Eigenverantwortung der Mitarbeiter

Steckbrief Gestaltungsansatz: Parallelisierung von Montagetätigkeiten

Beschreibung und Vorgehensweise

Das Konzept der Parallelisierung von Montagetätigkeiten beruht auf der Idee, dass das gleichzeitige Arbeiten an den fertigzustellenden Produkten zu einer Reduzierung von Durchlaufzeiten führt. Neben parallel durchgeführter (Varianten-)montage können Prüf- oder Testvorgänge parallelisiert werden.

Die Parallelisierung wird in der Kleinserienmontage insbesondere dann eingesetzt, wenn die Nachfrage steigt, und eine Kapazitätserhöhung notwendig wird.

Voraussetzung für die Parallelisierung der Montagetätigkeiten sind dafür geeignete Arbeitsplätze, die den Mehraufwand tragen können. Bei der Identifizierung von parallelisierungsfähigen Montagetätigkeiten ist besondere Vorsicht und genaue Analysen notwendig, um ein in sich funktionierendes Montagesystem zu gewährleisten. Ansonsten besteht die Gefahr, dass der Koordinationsaufwand die Vorteile der Parallelisierung deutlich vermindert.

Der Vorteil der Parallelisierung ist insbesondere die Erhöhung der Mengenflexibilität und damit die Steigerung der Liefertreue.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung der Montage-Durchlaufzeiten
- eine montagegerechte Materialbereitstellung am Ort der Montage
- Verlagerung nicht qualitätsrelevanter Vormontageumfängen

Nachteile

- Hoher Koordinationsaufwand
- Umfangreiche Vorab-Analyse

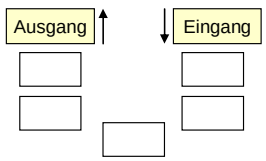
Zielwirkung

- Reduzierung der Montagezeit
- Optimierung des Montageablaufs
- Reduzierung der Montagekosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: U-Layout

Beschreibung und Vorgehensweise

Bei der Realisierung eines U-Layouts werden die Maschinen werden in Form eines "U" in der Reihenfolge der Arbeitsschritte angeordnet. Dabei ist der Eingang und Ausgang der Teile aus der U-Linie an derselben Seite. Dadurch lässt sich das Pull-Prinzip leicht realisieren. Wenn möglich, sollten die Maschinen immer im äußeren Bereich platziert und die Arbeiter im Zentrum beschäftigt werden. Auf diese Weise kann man eine Isolation vermeiden und die gegenseitige Hilfe erleichtern. Durch die U-förmige Anordnung kann die Anzahl der Arbeiter, die an einer U-Linie arbeiten, entsprechend dem Bedarf angepasst werden. Bei geringem Bedarf wird die Zahl der Mitarbeiter reduziert: sie bedienen jeweils mehr Maschinen als bei großem Bedarf. Sobald ein Teil die U-Linie verlässt, wird das nächste an die Linie gebracht. Auf diese Weise ist immer eine konstante Zahl an Teilen in der Linie.



Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Kontinuierlicher und konstanter Materialfluss
- Hohe Auslastung der Mitarbeiter
- Aufdecken und Diskussion von Problemen im Fall eines stockenden Flusses

Nachteile

- Trennung von Logistik und Wertschöpfung und dadurch Verzögerungen im Ablauf möglich

Zielwirkung

- Reduzierung von Transportwegen und Durchlaufzeiten
- Steigerung der Liefertreue durch Teamwork
- Steigerung der Mengenflexibilität
- Steigerung der Variantenflexibilität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Verlagerung der Verpackung an Montagelinie

Beschreibung und Vorgehensweise

Zur Optimierung des Materialflusses in der Montage eignet sich die Verlagerung der Verpackung der Montageobjekte an die Montagelinie.

Der Verpackungsbereich wird dabei nicht mehr als separater, örtlich getrennter Raum verstanden, sondern als (letzte) Station in der Montagelinie. Die Verpackungsmaterialien werden analog der Montagebauteile stationsnah bereitgestellt. Die Verpackung inklusive der Bestückung mit den notwendigen Informationsbroschüren etc. erfolgt direkt im Anschluss an die Montagetätigkeiten.

Je nach Organisationsform und Verpackungskomplexität erfolgt die Verpackung durch den Montagemitarbeiter (z. B. bei One-piece-flow) oder durch einen weiteren Mitarbeiter, der die Verpackungsleistung erbringt. Eine Erweiterung des Konzepts kann durch das variantenspezifische Drucken der Informationsbroschüren im Anschluss an die Montage erfolgen.

Ziel ist die Reduzierung von Schnittstellen im Wertschöpfungsprozess sowie die Vermeidung von Beständen durch Lagerung der Produkte im Verpackungsbereich.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Steigerung der Eigenverantwortung der Mitarbeiter
- Reduzierung von Schnittstellen im Wertschöpfungsprozess

Nachteile

- Erhöhter Platzaufwand im Montagebereich (Lagerfläche für Verpackung)
- Schulung der Mitarbeiter

Zielwirkung

- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Erhöhung der Liefertreue
- Erhöhung der Prozessqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Ampelkonten

Beschreibung und Vorgehensweise

Ampelkonten sind ein Einsatz zur Steigerung der Flexibilität der Arbeitszeit Grundlage des Modells ist die tariflich geregelte Arbeitsstundenwoche. Diese kann durch den Mitarbeiter flexibel gestaltet werden. Der Mitarbeiter erhält Freiraum über die Verteilung seiner Arbeitszeit.

Die Handlungsbedarfe der Mitarbeiter sind je nach Phase, in der sich der Mitarbeiter befindet, unterschiedlich

In der so genannten Grünphase (z. B. plus/minus 110 Stunden gegenüber der tariflichen Sollzeit pro Monat) steuert der Mitarbeiter seine Arbeitszeit eigenverantwortlich (jeweils unter der Berücksichtigung der betrieblichen Anforderungen).

In der Gelbphase (z. B. plus/minus 110 bis 230 Stunden) informiert der Mitarbeiter seinen Vorgesetzten und stimmt mit ihm die Rückführung in die Grünphase ab (durch Freizeitausgleich oder zusätzliche Arbeitszeiten).

In der Rotphase (z. B. über 230 Stunden) vereinbaren Vorgesetzter und Mitarbeiter Zeitraum und Maßnahmen, um die Arbeitszeiten in die Gelb- bzw. Grünphase zurückzuführen.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Zeitflexibler Einsatz von Mitarbeitern und dadurch Reaktion auf Auftragsschwankungen möglich

Nachteile

- Nicht für Schicht- und Fließbandarbeit einsetzbar
- Flexibilität des Mitarbeitereinsatzes wird bis zu definiertem Grad durch Mitarbeiter mitbestimmt

Zielwirkung

- Steigerung der Mengenflexibilität ohne Personal aufbauen zu müssen

Steckbrief Gestaltungsansatz: Arbeitnehmerüberlassung - Externe Leiharbeiter

Beschreibung und Vorgehensweise

Arbeitnehmerüberlassung ist das, in der Regel zeitlich begrenzte, Ausleihen eines Arbeitnehmers zur Arbeit in dem Betrieb eines Dritten, des "Entleihers". Statt von Arbeitnehmerüberlassung spricht man auch von Zeitarbeit oder von Leiharbeit. Bei Arbeitnehmerüberlassung fallen Arbeitsvertrag und Arbeitsleistung auseinander: Der Arbeitsvertrag des Leiharbeitnehmers besteht mit dem Verleiher, die Arbeitsleistung erfolgt beim Entleiher.

Beim Einsatz von Leiharbeitern tritt ein spezifisches Dreiecksverhältnis zwischen Leiharbeitnehmer, Verleiher/Arbeitgeber und Entleiher/Kundenunternehmen auf.

In Deutschland werden die rechtlichen Aspekte der Leiharbeit im Arbeitnehmerüberlassungsgesetz geregelt, dessen Vorgaben bei der Entscheidung für das Konzept berücksichtigt werden müssen.

Der Einsatz von Leiharbeitern eignet sich insbesondere für Unternehmen, die sehr flexibel auf Auftragsschwankungen reagieren wollen. Jedoch leiden viele Arbeitnehmer unter ihrer Rolle als Leihmitarbeiter, was sich negativ auf die Produktivität und Arbeitsleistung auswirken kann.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Kein großer Aufwand mit Neueinstellungen
- Festpreise für die tatsächlich geleistete Arbeit
- Keine Kündigungsfristen und -gründe

Nachteile

- Geringer Bindungswille des Leiharbeiters → niedrige Entwicklungsmotivation
- Gewissenhafte Auswahl des Verleihers notwendig

Zielwirkung

- Flexibler Mitarbeitereinsatz
- Personalkostenanpassung bei Auftragsschwankungen

Steckbrief Gestaltungsansatz: Arbeitszeitkonten

Beschreibung und Vorgehensweise

Im Rahmen der Realisierung von Arbeitszeitkonten wird auf schriftliche oder elektronische Weise die tatsächlich geleistete Arbeit (inklusive von beispielsweise Urlaub, Krankheit und Überstunden) des Mitarbeiters erfasst und mit der vertraglich zu leistenden Arbeitszeit verrechnet. Die Ermittlung erfolgt durch die Eingabe der Arbeitszeit in den Zeiterfassungsterminals. Hat der Arbeitnehmer mehr gearbeitet als vertraglich notwenig, weist das Arbeitszeitkonto ein Guthaben auf, ansonsten ein Defizit.

Arbeitszeitkonten basieren auf folgender Grundidee: In Zeiten mit einem hohen Arbeitsaufkommen können die Arbeitnehmer mehr arbeiten und diese Mehrarbeit auf einem Konto sammeln. Bei einem geringeren Arbeitsaufkommen im Betrieb können die Arbeitnehmer dieses Guthaben wieder aufbrauchen und ihre Arbeitszeit reduzieren.

Durch die Realisierung von Arbeitszeitkonten können saisonal schwankende Nachfragesituationen abgefedert und unproduktive Leerzeiten vermieden werden. Durch Arbeitszeitkonten können zudem die Personalkosten gesenkt werden, da keine Vergütung der Überstunden anfällt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Flexible Reaktion auf mittlere Auftragsschwankungen möglich
- Keine Vergütung von Überstunden möglich

Nachteile

- Keine Reaktion auf hohe Auftragsschwankungen möglich, da Arbeitszeit in Summe begrenzt ist

Zielwirkung

- Steigerung der Mengenflexibilität
- Reduzierung der Personalkosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Bedarfsorientiertes variables Schichtende

Beschreibung und Vorgehensweise

Das Konzept des bedarfsorientierten variablen Schichtendes in Abhängigkeit von der Auftragslage ist eine Vorgehensweise zum flexiblen Mitarbeitereinsatz in der Montage. Das Konzept basiert auf einer bedarfsorientierten Steuerung der Mitarbeiter. Dabei wird in Abhängigkeit von der Auftragslage die Anwesenheitspflicht der Mitarbeiter gesteuert. Dies bedeutet, dass die Mitarbeiter so lange fertigen, bis das geforderte Tagessoll an Produkten erfüllt ist. Die Steuerung erfolgt nicht nach Zeit sondern nach der Anzahl der gefertigten Produkte. Zur Reduzierung von Qualitätsfehlern durch ungenaues Arbeiten kann dieses Konzept mit dem Konzept der Eigenverantwortung des Mitarbeiters für die Qualität kombiniert werden.

Die praktische Umsetzung kann beispielsweise mit Hilfe einer Anzeigetafel erfolgen, welche visualisiert, wie viele Erzeugnisse bereits gefertigt wurden und wie viele noch zu fertigen sind (auf Tagesbasis). Bei der Realisierung eines derartigen Konzepts sind die arbeitsrechtlichen Vorgaben zu berücksichtigen, da vom Mitarbeiter ein hohes Maß an Zeit-Flexibilität gefordert wird. Die Vorgaben der zu fertigenden Mengen sind mit einem mehrtägigen Vorlauf zu machen, um den Mitarbeitern ein ausreichendes Maß an Planungssicherheit zu geben.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Steigerung der Mengenflexibilität durch sehr flexible Anpassung an Auftragsschwankungen

Nachteile

- Ggf. reduzierte Montagequalität durch schnelles „Abarbeiten“ der zu montierenden Produkte (Kombination mit qualitätsorientiertem Ansatz)
- Hohe Flexibilitätsanforderung an Mitarbeiter

Zielwirkung

- Steigerung der Mengenflexibilität
- Steigerung der Liefertreue

Steckbrief Gestaltungsansatz: Einsatz von Gleitzeitkonten

Beschreibung und Vorgehensweise

Durch die Realisierung von Gleitzeitarbeit erhält der Arbeitnehmer Arbeitszeitsouveränität und kann seine Arbeitszeit innerhalb eines festgelegten Rahmens flexibel gestalten. Durch Gleitzeit können somit Arbeitszeiten flexibilisiert werden.

Für die Gleitzeitgestaltung existieren zwei Haupt-Modelle:

1. Einfache Gleitzeit: Hier wird ein Rahmen für die tägliche Arbeitszeit festgelegt, also frühestmöglicher Beginn und spätestmögliches Ende. Außerdem legt der Arbeitgeber eine Kernarbeitszeit (auch Kernzeit) fest, in der für alle Arbeitnehmer Anwesenheitspflicht herrscht.

2. Qualifizierte oder variable Gleitzeit oder Gleitzeit ohne feste Kernarbeitszeit: Hier kann der Arbeitnehmer Arbeitsbeginn, Arbeitsende und Arbeitsdauer selbst bestimmen. Er muss lediglich darauf achten, seine festgelegte Arbeitszeit pro Woche, Monat oder Jahr einzuhalten.

Nicht an allen Arbeitsplätzen ist Gleitzeit möglich, wie etwa bei Fließband- oder bei Schichtarbeit.

Die Arbeitszeit wird mit Hilfe eines Gleitzeitkontos nachgewiesen und kontrolliert. Dieses Konto ist Bestandteil der Personalakte. Erfasst wird die Zeit durch Aufschreiben oder durch den Einsatz von Stechuhren.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Zeitflexibler Einsatz von Mitarbeitern und dadurch Reaktion auf Auftragsschwankungen möglich

Nachteile

- Nicht für Schicht- und Fließbandarbeit einsetzbar
- Flexibilität des Mitarbeitereinsatzes wird durch Mitarbeiter mitbestimmt

Zielwirkung

- Steigerung der Mengenflexibilität ohne kurzfristig Personal aufbauen zu müssen

Steckbrief Gestaltungsansatz: Flexibler Mitarbeitereinsatz (tätigkeitsflexibel)

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter einem tätigkeitsflexiblem Mitarbeitereinsatz wird der bedarfsorientierte Einsatz einzelner Mitarbeiter für unterschiedliche Tätigkeiten verstanden.

Voraussetzung für die Realisierung eines tätigkeitsflexiblen Mitarbeitereinsatz ist die ausreichende Qualifikation von Mitarbeitern, um den flexiblen Einsatz gewährleisten zu können. Ziel ist die schnelle Reaktion auf kurzfristige Änderungen der Produktionsaufträge. Im Gegensatz zu zeitflexiblen Ansätzen eignen sich der tätigkeitsflexible Mitarbeitereinsatz für Unternehmen mit kurzfristigen Änderungen am zu montierenden Produktprogramm.

Zur Realisierung eines tätigkeitsflexiblen Mitarbeiter-einsatzes können zwei Konzepte gewählt werden:

1. Alle oder ausgewählte Montagemitarbeiter sind dahin gehend qualifiziert, dass sie alle anfallenden Montagetätigkeiten eines definierten Montagebereichs (z. B. Montageinsel) durchführen können.

2. Alle oder ausgewählte Montagemitarbeiter sind dahin gehend qualifiziert, dass sie alle anfallenden Montagetätig-keiten innerhalb eines definierten Montagebereichs (z. B. Montageinsel) sowie Tätigkeiten anderer Montagebereiche (z. B. zweite Montageinsel) durchführen können.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Schnelle Reaktion auf Änderungen am Montageprogramm realisierbar (sowohl bzgl. der Zeit als auch bzgl. der Varianten)

Nachteile

- Hoher Qualifikations-aufwand
- Hoher Aufwand, um Qualität der Montagetätigkeit sicherstellen zu können

Zielwirkung

- Steigerung der Variantenflexibilität
- Steigerung der Mengenflexibilität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Kapazitätsorientierte variable Arbeitszeit (KAPOVAZ)

Beschreibung und Vorgehensweise

KAPOVAZ ist die Abkürzung für „Kapazitätsorientierte variable Arbeitszeit“. Es bezeichnet eine Sonderform der Teilzeitarbeit. KAPOVAZ steht für die Ableistung einer im Umfang fest vereinbarten Arbeitszeit auf Abruf. Für die Mitarbeiter ist damit im Extremfall eine ständige Arbeitsbereitschaft verbunden.

In produzierenden Unternehmen geht man in der Regel grundsätzlich von einem starren Arbeitszeitsystem mit festen Arbeitszeiten aus. Für bestimmte befristete Perioden im Rahmen einer Arbeitszeitflexibilisierung wird jedoch die variable Arbeitszeit realisiert. Dadurch können Unternehmen sehr flexibel auf saisonale Schwankungen reagieren. Der Arbeitgeber kann die Dauer der geleisteten Arbeitszeit seiner Mitarbeiter flexibel an den jeweiligen Bedarf anpassen.

Man kann KAPOVAZ auch als Jahresteilzeit bezeichnen. Gegenüber der klassischen Variante der Teilzeitarbeit ermöglicht diese Form der Abrufarbeit jedoch eine erheblich höhere Flexibilität des Arbeitgebers.

Bei der Gestaltung von KAPOVAZ zwischen Arbeitnehmern und Arbeitgebern wird häufig auf Basis der vereinbarten regelmäßigen wöchentlichen Arbeitszeit ein erhöhtes Entgelt vereinbart.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Hohe Einsatzflexibilität für den Arbeitgeber
- Auf Schwankungen im Bedarf kann flexibel reagiert werden

Nachteile

- Höhere Kosten durch hohe Mitarbeiter-bereitschaft
- Hoher Aufwand bei Vertragsgestaltung

Zielwirkung

- Steigerung der Mengenflexibilität (Auf starke Auftrags-schwankungen kann schnell und flexibel reagiert werden, ohne dass zusätzliche Mitarbeiter eingestellt werden müssen)

Steckbrief Gestaltungsansatz: Outsourcing

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter Outsourcing versteht man die Verlagerung von Wertschöpfungsaktivitäten des Unternehmens auf Zulieferer. Outsourcing stellt eine Verkürzung der Wertschöpfungskette bzw. der Leistungstiefe des Unternehmens dar. Durch die Inanspruchnahme qualifizierter, spezialisierter Vorlieferanten für Komponenten und Dienstleistungen werden die Produktions-, Entwicklungs-, aber auch Dienstleistungsgemeinkosten des Unternehmens häufig reduziert. Durch Konzentration auf die Kernaktivitäten werden Kostenvorteile realisiert und die eigene operative und eigene strategische Marktposition verbessert. Strategisch wichtig ist, dass im Rahmen des Outsourcings Schlüsseltechnologien und -kompetenzen nicht aufgegeben werden, weil auf diese Weise eine unerwünschte Abhängigkeit vom Vorlieferanten entstehen könnte.

Phasen des Outsourcing-Prozess:

- Ist-Analyse
- Make-or-Buy-Entscheidung
- Kontaktaufnahme
- Abgleich
- Vertrag
- Implementierung

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Steigerung der Flexibilität
- Kostenabbau
- Erhöhung des Service-Niveaus

Nachteile

- Hohe Anforderung an das Risikomanagement
- Abhängigkeit durch Bindung an Partner
- Offenlegung von Know-how

Zielwirkung

- Konzentration auf Kernkompetenzen
- Reduzierung der Montagekosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Schichtarbeit

Beschreibung und Vorgehensweise

Schichtarbeit liegt vor, wenn ein Arbeitsplatz in einem Unternehmen an einem Tag von mehreren sich abwechselnden Arbeitnehmern genutzt wird oder wenn ganze Arbeitsgruppen in bestimmten Abteilungen eines Unternehmens einander zeitlich nachfolgend arbeiten. Unter Schichtarbeit (Schichtdienst) wird somit eine Arbeitsform verstanden, bei der die Mitarbeiter in unterschiedliche „Schichten“ eingeteilt werden.

Ein Dreischichtbetrieb würde beispielsweise folgendermaßen organisiert werden: eine Frühschicht von 6 bis 14 Uhr, eine Spätschicht von 14 bis 22 Uhr und eine Nachtschicht von 22 bis 6 Uhr.

Ein Zweischichtbetrieb beinhalte zwei nacheinander liegende 8-Stunden-Schichten und damit eine Kapazitätsnutzung von 16 Stunden pro Tag.

In der Montage von Industriebetrieben sind in der Regel maximal Dreischichtbetriebe realisiert

Wird in einem Unternehmen Schichtarbeit durchgeführt, muss nach den gesetzlichen Regelungen des Arbeitszeitgesetzes (AZG) ein Schichtplan erstellt werden, bei dem, sofern vorhanden, die Mitwirkungsrechte des Betriebsrates beachtet werden müssen.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Flexible Reaktion auf stark steigenden Auftragseingang möglich (Realisierung einer weiteren Schicht)

Nachteile

- Gesundheitliche Risiken der Montagemitarbeiter
- Unkonzentriertheit in Nachtschichten und dadurch sinkende Montagequalität

Zielwirkung

- Steigerung der Mengenflexibilität
- Hohe Auslastung der Betriebsmittel realisierbar

Steckbrief Gestaltungsansatz: 100%-Prüfung

Beschreibung und Vorgehensweise

Die 100%-Prüfung wird häufig auch als Vollprüfung bezeichnet. Unter einer 100%-Prüfung wird die vollzählige Überprüfung aller in einem Los hergestellten Produkte in Bezug auf die vorgegebenen Prüfmerkmale verstanden.

Im Rahmen einer 100%-Prüfung können folgende Fehlerarten auftreten:

Kritische Fehler: Fehler, die für Personen, die die Einheit nutzen gefährlich sind oder eine unsichere Situation schaffen sowie Fehler, die die Funktion einer Einheit gefährden

Hauptfehler: Fehler, die nicht kritisch sind, aber zu Ausfällen führen

Nebenfehler: Fehler, die die Brauchbarkeit nicht wesentlich herabsetzen

Eine 100%-Prüfung ist zu realisieren, wenn Produkte oder die Montageverfahren neu umgesetzt wurden und demzufolge noch nicht stabil laufen. Zudem wird eine 100%-Prüfung realisiert, wenn die Fehlerfolgekosten die Prüfkosten wesentlich übersteigen. Zwingend notwendig ist die Vollprüfung bei lebenswichtigen Teilen. Ein weiterer Grund für die Vollprüfung sind gesetzliche Vorschriften sein oder die unbekannte Qualität einer Charge.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Fehler am Produkt und im Montagevorgang werden zuverlässig und schnell identifiziert => Abstellmaßnahmen können eingeleitet werden

Nachteile

- Hoher Zeitaufwand für 100%-Prüfung
- Hoher Kostenaufwand für 100%-Prüfung
- Montagemitarbeiter können nur selten aktiv in Prüfung einbezogen werden

Zielwirkung

- Erhöhung der Produktqualität
- Erhöhung der Prozessqualität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Automatisierte Qualitätsprüfung

Beschreibung und Vorgehensweise

Eine automatisierte Qualitätsprüfung liegt vor, wenn die Überprüfung der Produktqualität ausschließlich automatisiert, d. h. mit Hilfe von Roboter oder Automaten erfolgt. Eine Unterstützung durch den Menschen ist nicht oder nur zur Zuführung in den Automaten, notwendig.

Der Einsatz einer automatisierten Qualitätsprüfung ist bei hohen Volumina in Kombination mit hohen geforderten Qualitätsstandards sinnvoll. Zudem eignet sich ein automatisierte Qualitätsprüfung, wenn die Prüfkriterien durch den Menschen nicht ausreichend genau überprüft werden können (z. B. Qualität einer Laser-geschweißten Naht).

Automatisierte Qualitätsprüfungen können beispielsweise optische Prüfungen mithilfe der Kameramesstechnik darstellen.

Automatisierte Qualitätsprüfungen ermöglichen einen maximalen Durchsatz in Kombination mit einer hohen Qualität. Die Überwachung der Qualität erfolgt lückenlos und menschliches Versagen wird weitestgehend ausgeschlossen. Störungen im Montageprozess werden schnell und zuverlässig erkannt.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Maximaler Durchsatz bei gleichzeitig hoher Qualität
- Lückenlose Überwachung der Qualität
- Frühzeitiges Erkennen von Prozessstörungen

Nachteile

- Hohe Investitionskosten
- Nur für hohe Volumina oder überdurchschnittlich hohe Qualitäts-anforderungen sinnvoll
- Je nach Prüf-mechanismus z.T. geringe Flexibilität

Zielwirkung

- Steigerung der Produktqualität
- Steigerung der Prozessqualität
- Reduzierung der Durchlaufzeit

Steckbrief Gestaltungsansatz: Eingangsprüfung

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Eingangsprüfung ist ein Gestaltungsansatz der Qualitätssicherung.

Warenlieferungen müssen nach den Vorgaben des Qualitätsmanagements exakt geprüft werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass alle zu prüfenden Eigenschaften ordnungsgemäß erfüllt und dokumentiert werden.

Hierfür wird im Wareneingang die angelieferten Waren auf Richtigkeit von Termin, Menge, Artikel, Einhaltung der Lieferanweisungen (z. B. Markierungen am Teil) sowie Qualität (Kaufmännische Untersuchungs- und Rügepflicht) geprüft.

Da eine hundertprozentige Prüfung häufig zu zeitaufwendig und kapitalintensiv ist und meist nur durch vollautomatische Sortiermaschinen erreicht werden kann, dient die Stichprobe als wirksames Kontrollinstrument in der Eingangsprüfung.

Um den Aufwand gering zu halten, wurden Stichprobensysteme nach ISO entwickelt. Die dort angegebenen Zahlen sagen aus, welcher Fehleranteil zulässig ist. Der Fehleranteil in der Produktion darf maximal halb so groß sein wie die AQL-Zahl (annehmbare Qualitätsgrenzlage). Die Zahl entscheidet über Annahme oder Rückweisung der Ware.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung der Ausschussquote durch Annahme fehlerfreier Waren
- Überprüfung von Zielvereinbarungen mit Lieferanten

Nachteile

- Hoher regelmäßiger Aufwand für Kontrolle
- Hohe Kosten der Qualitätsprüfung

Zielwirkung

- Systematische Prüfung der Warenanlieferungen
- Sicherstellung der Qualität des Wareneingangs

Steckbrief Gestaltungsansatz: Fehlerbeseitigung durch den Fehlerverursacher

Beschreibung und Vorgehensweise

Der Ansatz der Fehlerbeseitigung durch den Fehlerverursacher dient der Stärkung der Eigenverantwortung der Montagemitarbeiter bezüglich der Montagequalität.

Das Konzept sieht vor, dass im Rahmen der Endprüfung ermittelte Fehler durch den Fehlerverursacher und nicht durch die Qualitätsprüfungsabteilung beseitigt werden.

Die praktische Umsetzung erfordert die Sicherstellung der Zuordnung des Fehlers zu genau einem Fehlerverursacher. Zudem muss es organisatorisch möglich sein, dass der Mitarbeiter für die Zeit der Fehlerbeseitigung von der Montage freigestellt wird, ohne den Ablauf zu verzögern. Die Realisierung ist somit nur möglich, wenn die Zeitdauer für die Fehlerbeseitigung sich nicht negativ auf den Montagefluss auswirkt (z. B. Realisierung im Rahmen einer getakteten Fließmontage ist nicht sinnvoll).

Eine verstärkte positive Wirkung des Konzepts kann erzielt werden, wenn der Nacharbeitsplatz in Sichtweite der Montagemitarbeiter liegt. Eine häufige Nacharbeit wird somit von den Mitarbeitern aktiv vermieden und ein inoffizieller interner Wettbewerb wird aufgebaut.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Steigerung der Eigenverantwortung der Mitarbeiter
- Reduzierung von „immer gleichen Fehlern“

Nachteile

- Nicht für alle Montageorganisations-formen sinnvoll realisierbar
- Zuordnung von Fehlerverursacher und Fehler muss eindeutig gegeben sein

Zielwirkung

- Steigerung der Montagequalität
- Reduzierung der Montagekosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Montagebegleitende Prüfung

Beschreibung und Vorgehensweise

Unter einer montagebegleitenden Prüfung wird die Prüfung der Montagequalität jeweils direkt im Anschluss an die jeweilige Montagetätigkeiten verstanden.

Die montagebegleitende Prüfung kann auf drei grundlegende Arten erfolgen:

- manuelle Prüfung durch den Montagemitarbeiter im Anschluss an die Montagetätigkeit
- halbautomatisierte Prüfung durch den Montagemitarbeiter im Anschluss an die Montagetätigkeit
- vollautomatisierte Prüfung durch Robotereinsatz im Anschluss an die Montagetätigkeit

Die montagebegleitende Prüfung kann ja nach Anforderung als Stichprobenprüfung oder als Vollprüfung realisiert werden.

Voraussetzung für eine montagebegleitende Prüfung ist die Qualifizierung der Montagemitarbeiter bei manueller oder halbautomatisierter Prüfung.

Die montagebegleitende Prüfung der Montagequalität kann sowohl in Gruppen- als auch Fließmontagesystemen realisiert werden.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Reduzierung von Schnittstellen im Montageablauf
- Steigerung der Eigenverantwortung der Mitarbeiter

Nachteile

- Hoher Qualifizierungsaufwand der Montagemiterabeiter
- Keine Spezialisierung im Prüfbereich und dadurch nicht für kritische Teile sinnvoll

Zielwirkung

- Reduzierung von Durchlaufzeiten
- Erhöhung der Prozessqualität
- Reduzierung der Prüfkosten

Steckbrief Gestaltungsansatz: Qualität Endprüfung

Beschreibung und Vorgehensweise

Qualitätsprüfungen können nach dem Zeitpunkt der Prüfung in Eingangs-, Zwischen- und Endprüfungen unterteilt werden.

Die Endprüfung erfolgt nach Fertigstellung des zu montierenden Produkts und ist der letzte Schritt vor der Verpackung bzw. Lagerlegung. Endprüfungen werden eingesetzt, um die finale Funktionalität des Erzeugnisses zu prüfen.

Zur Durchführung der Endprüfung liegt ein definierter Prüfablauf vor, der alle wesentlichen Prüfschritte beinhaltet. Insbesondere bei komplexen Produkten mit einer Vielzahl von Montageschritten ist eine Endprüfung sinnvoll, um das Zusammenspiel der Schnittstellen zu testen.

Endprüfungen können sowohl als 100% als auch als Stichprobenprüfungen organisiert werden. Die Prüfungen können zudem automatisiert oder manuell erfolgen.

Häufig erfolgt im Rahmen der Endprüfung auch das Customizing des Produkts, wie beispielweise Spracheinstellungen an der Produktsoftware oder die Zuordnung von Informationssheets.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Finale Funktionalität des Produkts wird überprüft
- Zwischenprüfungen können reduziert werden

Nachteile

- Fehler am Montageobjekt fallen gegebenenfalls erst am Ende des Produktentstehungsprozesses auf

Zielwirkung

- Sicherstellung der Produktqualität
- Reduzierung von Durchlaufzeiten durch Customizing des Produkts im Rahmen der Qualitätsprüfung

Steckbrief Gestaltungsansatz: Quality Gates (I)

Beschreibung und Vorgehensweise

Quality Gates sind ein Berichts- und Entscheidungsinstrument zur Qualitätssicherung. Kosten, Qualität und Zeit werden an den Messpunkten quantifiziert. Als Qualitätsmesspunkte dienen sie zur Nachhaltung und Synchronisation der Zielerreichung zwischen Prozessfortschritt und zu erreichendem Ergebnis.

Am Ende jedes definierten Fertigungsabschnitts findet eine zusätzliche Qualitätsprüfung an einem Quality Gate statt. Das Quality Gate ergänzt den Qualitätsregelkreis.

Ein Qualitätssicherer prüft alle Fahrzeuge anhand einer Checkliste mit dem Ziel, Fehler rechtzeitig erkennen, sofort korrigieren und zukünftig vermeiden zu können.

Das Qualitätstor stellt sicher, dass ein fehlerfreies Produkt an den folgenden Bereich übergeben wird.

Das Quality Gate-Konzept umfasst folgende Punkte:

- Standardisierte Produktprüfung durch die Produktionsmitarbeiter
- Standardisierte Rückmeldung und Dokumentation
- Identifizierung aller möglichen Fehler
- Gelegenheit für eine Verbesserung
- Auslösen eines sofortigen Problemlösungsprozesses

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Vermindert die Fehlerkosten
- Qualitätssicherung
- Systematisches Abprüfen vordefinierter Kriterien
- Einfache Visualisierung
- Erkennung von Problemfeldern

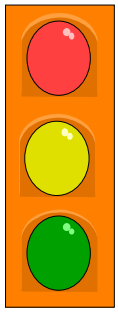
Nachteile

- Alle notwendigen aber nicht zu viele Messwerte festlegen
- Verlangsamung des Prozesses

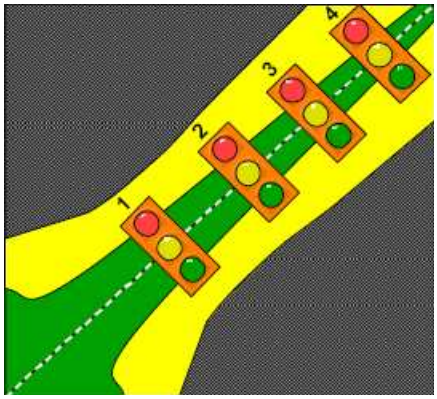
Zielwirkung

- Erlaubt eine prozessbegleitende Qualitätssicherung und verkürzt die Qualitätsregelschleifen
- Erleichtert die Weiterentwicklung des Qualitätsberichtswesens
- Zeigt messbare Fortschritte bei der Verbesserung von Qualität und Produktivität

Steckbrief Gestaltungsansatz: Quality Gates (II)



- ❒ Anforderungen werden nicht erfüllt: keine Freischaltung, neue Planung
- ❒ Anforderungen werden nicht vollständig erfüllt: bedingte Freischaltung, nur mit Auflagen
- ❒ Anforderungen werden erfüllt: Freischaltung



Steckbrief Gestaltungsansatz: Selbstkontrolle der Montagequalität

Beschreibung und Vorgehensweise

Das Prinzip der Selbstkontrolle der Montagequalität beruht auf dem Konzept der Eigenverantwortlichkeit der Mitarbeiter. Die Montagemitarbeiter sind dabei selbst für die Qualität des von ihnen durchgeführten Montageschritts verantwortlich.

Die Realisierung der Selbstkontrolle der Qualität führt zu einer Reduzierung von separaten Prüfstellen mit ausgebildeten Mitarbeitern zur Überprüfung der Montagequalität. Insbesondere die Kombination der Selbstprüfung mit Qualitätsregelkarten führt zu hohen Erfolgen.

Durch die Anwendung des Prinzips werden sowohl Personalkosten als auch Transportaufwände reduziert und die Durchlaufzeiten in der Montage werden verringert. Voraussetzung für die Selbstkontrolle der Montagequalität sind ausreichend prüffreundlich gestaltete Montageobjekte, um die positiven Effekte realisieren zu können. Zudem sind die Mitarbeiter bezüglich der Prüftätigkeiten zu qualifizieren.

Das Konzept der Selbstkontrolle der Montagequalität durch den Montagemitarbeiter wird häufig in Verbindung mit dem Prinzip der Fertigungssegmentierung oder dem Prinzip One-Piece-Flow realisiert.

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Steigerung der Eigenverantwortung der Mitarbeiter und dadurch Mitarbeitermotivation
- Reduzierung von Durchlaufzeiten

Nachteile

- Qualifizierung der Mitarbeiter zur Sicherstellung der Prüfqualität
- Prüffreundliche Montageobjekte sind notwendig
- Konzept ist nicht für alle Organisationsformen sinnvoll

Zielwirkung

- Reduzierung von Durchlaufzeiten durch geringere Anzahl von Schnittstellen im Prozess
- Erhöhung der Produktqualität durch Steigerung der Eigenverantwortung der Mitarbeiter

Steckbrief Gestaltungsansatz: Stichprobenprüfung

Beschreibung und Vorgehensweise

Die Stichprobenprüfung ist eine Prüfung, bei der nur eine Auswahl von Prüfungsobjekten (Stichprobenelemente) aus der Menge des Prüfungskomplexes (Grundgesamtheit) geprüft wird. Das Urteil bezüglich der Gesamtqualität wird durch das Schließen von dem Zustand der geprüften Objekte der Stichprobe auf den wahrscheinlichen Zustand der Grundgesamtheit gewonnen. Stichprobenprüfungen sind nur einsetzbar, wenn keine vollkommene Sicherheit über die Qualität der Grundgesamtheit gefordert ist.

Folgende Vorgehensweisen zur Stichprobenauswahl liegen vor:

1. Bewusste Auswahl: Der Prüfer bestimmt Ansatz und Umfang der Stichprobe nach subjektivem Ermessen, ausgehend von Berufserfahrungen, Branchen- und Unternehmenskenntnissen. Eine eindeutige Bezifferung von Sicherheit und Genauigkeit der Urteilsaussage ist nicht möglich, da der erforderliche Stichprobenumfang nicht mithilfe von mathematischen Verfahren errechnet wird.

2. Zufallsauswahl: Mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden wird aus der Grundgesamtheit eines Prüfungsbereichs eine hinsichtlich des zu prüfenden Merkmals hinreichend repräsentative Stichprobe ausgewählt (uneingeschränktes Zufallsstichprobenverfahren).

Phase des Konfigurationsprozesses

Einsatz in Phase 4: Montagefeinplanung

Vorteile

- Geringerer Kostenaufwand zur Prüfung der Grundgesamtheit als bei Vollprüfung

Nachteile

- Kein vollkommene Sicherheit über die Qualität der Grundgesamtheit

Zielwirkung

- Reduzierung der Prüfkosten
- Reduzierung der Durchlaufzeiten