

Reihe Informationsmanagement im
Engineering Karlsruhe

Markus Gloßner

**Integrierte Planungsmethodik für
die Presswerkneutypplanung in
der Automobilindustrie**

Band 1 – 2007



universitätsverlag karlsruhe

Markus Gloßner

Integrierte Planungsmethodik für die Presswerkneutypplanung in der Automobilindustrie

**Reihe Informationsmanagement im Engineering Karlsruhe
Band 1 – 2007**

Herausgeber

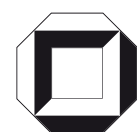
Universität Karlsruhe (TH)

Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI)

o. Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova

Integrierte Planungsmethodik für die Presswerkneutypplanung in der Automobilindustrie

von
Markus Gloßner



universitätsverlag karlsruhe

Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Maschinenbau, 2007

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2007
Print on Demand

ISSN: 1860-5990
ISBN: 978-3-86644-179-8

Integrierte Planungsmethodik für die Presswerkneutypplanung in der Automobilindustrie

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der Fakultät für Maschinenbau der
Universität Karlsruhe (TH)

genehmigte
DISSERTATION

von

Dipl. Kfm. techn. Markus Gloßner
geboren am 9. Juni 1977 in Kösching

Hauptreferent	Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova
Koreferent	Prof. Dr. rer. pol. Hans-Georg Kemper
Tag der Promotion	29. Juni 2007

Vorwort der Herausgeberin

Vor allem die zunehmende Globalisierung und der daraus entstehende Wettbewerbsdruck stellt für die Automobilindustrie eine große Herausforderung dar. Die Automobilhersteller begegnen dieser Entwicklung durch eine massive Ausweitung des Produktprogramms im Sinne einer Diversifizierung.

Für den Bereich der Produktionsplanung bedeutet dies, dass immer mehr qualitativ hochwertige Planungsleistungen in kürzerer Zeit abverlangt werden. Im Umfeld der Presswerkneutypplanung müssen damit mehr Karosserieaufbauteile beplant und letztendlich auch beschafft werden. Da parallel zu der Diversifizierung auch der Kostendruck ansteigt, sind zudem die Kosten in diesem Bereich zu senken. Mit den traditionellen Werkzeugen und Methoden der Planung ist diesen Herausforderungen nicht Herr zu werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb eine Planungsmethodik für den Bereich der Presswerkneutypplanung entwickelt, die einen integrativen, durchgängigen Ansatz verfolgt. Dabei liegt der Fokus vor allem auf der produktionsgerechten Produktgestaltung, die insbesondere in den frühen Phasen des Fahrzeugentwicklungsprozesses wirkt.

Ziel der Arbeit ist es, die Integration der technischen Machbarkeit mit den resultierenden Kosten voranzutreiben. Die Standardisierung der Fertigungskonzepte im Allgemeinen und der Werkzeugkonzepte im Speziellen ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung. Durch ein Front-Loading des frühen Planungsprozesses mit zuvor definierten Fertigungsmethodenstandards kann so der Spielraum eingeschränkt und die Einhaltung der Standards durchgesetzt werden.

Danksagung

Die vorliegende Dissertation ist das Ergebnis meiner Arbeit von November 2004 bis August 2007 im Team Digitale Planung Karosserie-Technik im Presswerk der DaimlerChrysler AG im Werk Sindelfingen. Während dieser Zeit konnte ich durch verschiedene Projekte im Umfeld der Prozesskette Presswerk wertvolle Erfahrungen über die Prozesse und die Besonderheiten der Automobilindustrie sammeln.

Zunächst bedanke ich mich bei meiner Erstgutachterin Frau Prof. Dr. Dr. Jivka Ovtcharova, Leiterin des Instituts für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI) der Universität Karlsruhe. Ohne die motivierenden und inspirierenden Treffen sowie die exzellente akademische Betreuung wäre die vorliegende Arbeit sicherlich nicht in dieser Form möglich gewesen.

Weiterhin bin ich Herrn Prof. Dr. Hans-Georg Kemper, dem Inhaber des Lehrstuhls für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Wirtschaftsinformatik I des betriebswirtschaftlichen Instituts der Universität Stuttgart, sehr dankbar für die Übernahme des Zweitgutachtens und für das Interesse, das er in meiner Arbeit gezeigt hat.

Zudem bedanke ich mich bei Herrn Dr. Christoph Kaminsky, Leiter des Teams Steuerungsmethoden und Prozesse im Presswerk der DaimlerChrysler AG, der durch seine praxisnahe und motivierende Betreuung am Erfolg dieser Arbeit maßgeblich beteiligt war. Mein weiterer Dank gilt den Mitarbeitern des Teams Steuerungsmethoden und Prozesse, die mich in meiner Arbeit immer bestärkt haben.

Bei meinen Eltern Helga und Manfred Gloßner bedanke ich mich für ihre moralische Unterstützung in den drei Jahren meiner Promotion. Dankbar bin ich auch meiner Freundin Susi Barth, die immer für mich da war.

Markus Gloßner

A Inhaltsverzeichnis

A	Inhaltsverzeichnis.....	I
B	Abbildungsverzeichnis.....	V
C	Abkürzungsverzeichnis.....	XI
D	Formelverzeichnis	XIII
1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Zielsetzung und Motivation.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	4
2	Gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie	7
2.1	Begriffsdefinitionen und Ausgangssituation	7
2.1.1	Produktionsplanung	7
2.1.2	Presswerkplanung	8
2.1.3	Ausgangssituation für die Presswerkplanung	9
2.2	Umformtechnische Grundlagen.....	11
2.2.1	Der Karosseriebauteilfertigungsprozess.....	11
2.2.2	Eingesetzte Pressentechnologien.....	12
2.2.3	Eingesetzte Werkzeugtechnologien	16
2.3	Die Planungsprozesskette Pressbauteile	21
2.3.1	Produktionskonzeptphase	21
2.3.2	Methodenphase	25
2.3.3	Beschaffungsphase	27
2.3.4	Phase Qualität.....	30
2.3.5	Produktionsphase.....	30
2.4	Herausforderungen für die Automobilindustrie	30
2.4.1	Reduzierung der Planungskosten und der Planungszeit.....	31

2.4.2	Erhöhung der Planungsergebnisqualität	32
2.4.3	Schlussfolgerung	33
2.5	Zusammenfassung	34
3	Stand in Technologie und Wissenschaft	35
3.1	Methodisches Vorgehen	35
3.2	Allgemeine Methoden der Produktionsplanung	36
3.2.1	Business Process Reengineering	36
3.2.2	Wissensmanagement	39
3.2.3	Qualitätsmanagement	44
3.2.4	Change Management.....	50
3.3	Spezielle Methoden der Produktionsplanung	54
3.3.1	Computer Integrated Manufacturing.....	54
3.3.2	Featurebasierte Prozessketten	59
3.3.3	Product Lifecycle Management	64
3.3.4	Digitale Fabrik	67
3.4	Zusammenfassung des Kapitels	72
4	Motivation.....	73
4.1	Methodik zur Bewertung der Planungsmethoden.....	73
4.2	Bewertung	74
4.3	Notwendigkeit für eine neue Planungsmethodik.....	79
4.4	Zusammenfassung	79
5	Integrierte Methodik zur Presswerkneutypplanung.....	81
5.1	Ziele der neuen Methodik	81
5.2	Grundaufbau und Definitionen.....	84
5.3	Methodische Schritte.....	86
5.3.1	Analyse und Integration der generellen Machbarkeit	86
5.3.2	Planung des Fertigungskonzeptes.....	90
5.3.3	Ermittlung der Teilkosten.....	105
5.3.4	Abgleich mit Zielkosten	111
5.4	Integration in den Planungsprozess.....	112

5.5	Ergebnisse und Potenziale.....	116
5.5.1	Wissenschaftlicher Beitrag	117
5.5.2	Potenziale für die Industrie.....	118
5.6	Zusammenfassung des Kapitels	119
6	Validierung anhand eines Business Cases.....	121
6.1	Überblick und Rahmenbedingungen	121
6.1.1	Vorgehensweise.....	121
6.2	Business Case.....	122
6.2.1	Software-Prototyp	122
6.2.2	Verwendetes Bauteil: Konsole Federbein	123
6.2.3	Rahmenbedingungen der Planung	124
6.3	Planungsalternative 1.....	127
6.3.1	Absicherung der Machbarkeit	128
6.3.2	Planung des Fertigungskonzeptes.....	130
6.3.3	Ermittlung der Kostenbausteine	136
6.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	139
6.4	Planungsalternative 2.....	140
6.4.1	Absicherung der Machbarkeit	141
6.4.2	Planung des Fertigungskonzeptes.....	141
6.4.3	Ermittlung der Kostenbausteine	146
6.4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	148
6.5	Bewertung und Vergleich.....	149
6.6	Zusammenfassung	150
7	Fazit und Ausblick.....	151
7.1	Fazit	151
7.2	Ausblick.....	153
E	Literaturverzeichnis.....	XV

B Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.2.1: Karosserieaufbauteile der Mercedes Benz C-Klasse.....	2
Abbildung 1.3.1: Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2.1.1: Rahmenbedingungen für die Presswerkplanung	9
Abbildung 2.1.2: Wissensgebiete [Baur02]	10
Abbildung 2.2.1: Einteilung der Fertigungsverfahren des Umformens [DIN8582]...	11
Abbildung 2.2.2: Die generischen Stufen im Presswerkfertigungsprozess	12
Abbildung 2.2.3: Relevante Hauptparameter	13
Abbildung 2.2.4: Aufbau eines Saugermechanisierungsarms	14
Abbildung 2.2.5: Doppelteifertigung mit Crossbarsaugertransfermechanisierung...	15
Abbildung 2.2.6: Typisierung der häufig verwendeten Großwerkzeuge	17
Abbildung 2.2.7: Prinzipieller Aufbau eines Ziehwerkzeuges [Mül07]	18
Abbildung 2.2.8: Ziehprozess bei einfach wirkendem Zug [Mül07].....	19
Abbildung 2.2.9: Ziehprozess im doppelt wirkenden Zug [Mül07]	20
Abbildung 2.3.1: Planungsprozesskette Pressbauteile	21
Abbildung 2.3.2: Produktionsgerechte Produktgestaltung (PPG)	22
Abbildung 2.3.3: Kostenstruktur Blechteile	24
Abbildung 2.3.4: Bezugsartfestlegungen.....	26
Abbildung 2.3.5: Der generische Werkzeugherstellungsprozess	28
Abbildung 2.4.1: Herausforderungen an die Presswerkplanung	31

Abbildung 3.1.1: Methoden der Produktionsplanung.....	35
Abbildung 3.2.1: Der Geschäftssystemdiamant [Ham94].....	38
Abbildung 3.2.2: Bausteine des Wissens.....	40
Abbildung 3.2.3: Interpretation von Informationen [Ber99].....	41
Abbildung 3.2.4: Ebenenmodell von Wissen mit Beispielen [Seu98].....	42
Abbildung 3.2.5: Die Bausteine des Wissensmanagements [Pro97].....	43
Abbildung 3.2.6: Die Grundpfeiler des TQM [Kam06].....	47
Abbildung 3.2.7: Vier Phasen des QFD [Kam06].....	48
Abbildung 3.2.8: Ganzheitlicher Ansatz des Change Managements [Beg03].....	51
Abbildung 3.2.9: Regelkreis des Change Management [Bin98].....	53
Abbildung 3.2.10: Das Sieben-Phasen-Modell des Change Management [Str03].....	54
Abbildung 3.3.1: Komponenten des CIM-Konzeptes [Awf85].....	55
Abbildung 3.3.2: Das Y-Modell nach Scheer [Sche89].....	58
Abbildung 3.3.3: Produkt, Prozess und Ressource [Haa99].....	59
Abbildung 3.3.4: Features am Beispiel einer Motorhaube.....	60
Abbildung 3.3.5: Architekturkonzepte nach [Rie95].....	62
Abbildung 3.3.6: Konstruktionsfeature Langloch mit Standardtoleranzen.....	63
Abbildung 3.3.7: Featureklassifizierung nach Form und Funktion.....	64
Abbildung 3.3.8: Historische Entwicklung von PLM [Fiz06].....	65
Abbildung 3.3.9: PLM zwischen Produkt- und Ressourcensicht [Kar06].....	66
Abbildung 3.3.10: Fokus der Digitalen Fabrik [Vdi06].....	68
Abbildung 3.3.11: Integration von Produkt, Prozess und Ressource [Hal03].....	69

Abbildung 3.3.12: Ansatzpunkte der Digitalen Fabrik [Kam05]	70
Abbildung 3.3.13: Softwareinseln innerhalb der Prozesskette Blechbauteile	71
Abbildung 4.2.1: Bewertung der Planungsmethoden	78
Abbildung 5.1.1: Kostenbeeinflussung und -entstehung	82
Abbildung 5.2.1: Grundaufbau der Planungsmethodik Digitale Fabrik.....	84
Abbildung 5.2.2: Generelle Kostenzusammensetzung in der Neutypplanung.....	86
Abbildung 5.3.1: Erster Schritt der Methodik: Die Machbarkeitsanalyse	87
Abbildung 5.3.2: Vorgehen bei der Umformsimulationserstellung [Roh01]	88
Abbildung 5.3.3: Werkzeug zur Herstellung von Prototypen	89
Abbildung 5.3.4: Zweiter Schritt: Planung des Fertigungskonzeptes.....	91
Abbildung 5.3.5: Prämissen einer Fertigungskonzeptplanung.....	92
Abbildung 5.3.6: Einfluss des Produktes auf das Fertigungskonzept	93
Abbildung 5.3.7: Planung des Fertigungsprozesses	95
Abbildung 5.3.8: Ablauf der Prozess- und Ressourcenplanung.....	96
Abbildung 5.3.9: Planung des Arbeitsvorganges	97
Abbildung 5.3.10: Maschinenplanung	98
Abbildung 5.3.11: Vergleich gängiger Mechanisierungsarten	98
Abbildung 5.3.12: Planung des benötigten Materials	99
Abbildung 5.3.13: Vergleich Rechteckplatte und Formplatte	100
Abbildung 5.3.14: Planung des Teiledurchlaufs	101
Abbildung 5.3.15: Planung des Werkzeugkonzeptes	102
Abbildung 5.3.16: Featurebasierte Methodik zur Werkzeugkonzeptplanung	103

Abbildung 5.3.17: Auswahl verschiedener Methodenstandards	104
Abbildung 5.3.18: Auswirkung des Fertigungskonzeptes auf die Teilekosten	105
Abbildung 5.3.19: Ermittlung der Materialkosten	106
Abbildung 5.3.20: Beispiel für eine Materialkostenkurve.....	107
Abbildung 5.3.21: Ermittlung der Fertigungskosten.....	108
Abbildung 5.3.22: Herleitung der Werkzeugkosten.....	109
Abbildung 5.3.23: Methodik zur Werkzeugkostenkalkulation.....	110
Abbildung 5.3.24: Abgleich der Teilekosten mit den Zielkosten	112
Abbildung 5.4.1: Integration in den Entscheidungsprozess	113
Abbildung 5.4.2: Zeitliche Einordnung im Fahrzeugentwicklungsprozess	115
Abbildung 6.1.1: Vorgehensweise zur Validierung.....	122
Abbildung 6.2.1: Verwendetes Bauteil Federbein oben.....	124
Abbildung 6.2.2: Bebauungsplan eines Großpresswerkes der DC AG.....	125
Abbildung 6.2.3: Fiktive Materialkosten abhängig von der Coilbreite	126
Abbildung 6.2.4: Eingangsparameter aus dem Presswerk	127
Abbildung 6.3.1: Erste Planungsalternative.....	128
Abbildung 6.3.2: Eingangsparameter für die FEM-Simulation	129
Abbildung 6.3.3: Ausdünnung als Ergebnis der FEM-Simulation	129
Abbildung 6.3.4: Pressenwahl	131
Abbildung 6.3.5: Minimale Platine.....	132
Abbildung 6.3.6: Vergleich zwischen Form- und Standardplatine.....	133
Abbildung 6.3.7: Automatisch erkannte Features.....	134

Abbildung 6.3.8: Featurebasierte Werkzeugkonzeptplanung	135
Abbildung 6.3.9: Ausschnitt aus dem fertigen Werkzeugkonzept.....	136
Abbildung 6.3.10: Kostenvergleich der Materialplanungsvarianten.....	137
Abbildung 6.3.11: Ausschnitt aus den resultierenden Werkzeugkosten	138
Abbildung 6.3.12: Herstellkosten der ersten Alternative.....	140
Abbildung 6.4.1: Zusammenlegung der zweiten Alternative.....	141
Abbildung 6.4.2: Maschinenplanung bei der zweiten Alternative	142
Abbildung 6.4.3: Minimale Platine für die Vierfachteilfertigung	143
Abbildung 6.4.4: Vergleich zwischen Form und Rechteckplatine.....	144
Abbildung 6.4.5: Werkzeugkonzept der zweiten Planungsalternative.....	145
Abbildung 6.4.6: Kostenvergleich der Materialplanungsvarianten.....	146
Abbildung 6.4.7: Ausschnitt aus den Kosten pro Werkzeugstufe.....	148
Abbildung 6.4.8: Teilekosten bei Wahl der zweiten Alternative	149
Abbildung 6.5.1: Alternativenvergleich.....	149

C Abkürzungsverzeichnis

AVO	Arbeitsvorgang
AWF	Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung
BDE	Betriebsdatenerfassung
BPR	Business Process Reengineering
BVW	Betriebliches Vorschlagwesen
BZA	Bezugsart
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
CAQ	Computer Aided Quality
CIM	Computer Integrated Manufacturing
cPDM	Collaborative Product Data Management
CRM	Customer Relationship Management
EDB	Engineering Database
EDM	Engineering Data Management
ERP	Enterprise Resource Planning
FEM	Finite Elemente Methode
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
HoQ	House of Quality
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NC	Numerical Control
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
PPG	Produktionsgerechte Produktgestaltung
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
SCM	Supply Chain Management
SUV	Sports Utility Vehicle
TQM	Total Quality Management
QFD	Quality Function Deployment

QG	Quality Gate
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

D Formelverzeichnis

A	Platinenfläche	mm ²
B	Blechcoilbreite	mm
C _{FK}	Fertigungskosten	€
C _{HB}	Blechcoilmaterialkosten	€/t
C _{Mat}	Gesamtmaterialkosten eines Bauteils	€
C _p	Fertigungskosten Arbeitsvorgang Umformen	€
C _{Platine}	Kosten der Platine	€
C _s	Fertigungskosten Arbeitsvorgang Platinenschnitt	€
E _s	Schrotterlöse	€
H	Blechdicke	mm
N	Ausnutzungsgrad	%
ρ	Dichte	kg/m ³
U	Hubzahl	1/min
V	Verrechnungssatz Fertigungsgemeinkosten	€/min

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die wachsende Globalisierung und der hieraus resultierende Wettbewerbsdruck stellen für die Unternehmen in der Automobilbranche eine immer größere Herausforderung dar [Zäh03; Bra03].

Die Mercedes Car Group als Markenverbund der DaimlerChrysler AG mit den Marken Mercedes-Benz, Smart und Maybach begegnete dieser Umfeldveränderung durch eine Produktoffensive. Aber auch bei anderen Automobilherstellern ist ein Trend hin zu mehr Produktindividualisierung in Form von neuen Modellen, Varianten und Ausstattungen zu erkennen [Zäh04].

Eine weitere Strategie ist die Verkürzung des Time-to-Market, der Zeit, die von den ersten Design-Skizzen eines neuen Fahrzeugs bis zu dessen Markteinführung vergeht. Der gleitende Übergang zu neuen Baureihen erfordert jedoch erhebliche Modifikationen der Planungsprozesse. Nur durch die massive Parallelisierung von Planungstätigkeiten erreichen Geschwindigkeit und Qualität das erforderliche Niveau [Kop04].

Zusätzlich zur Verkürzung von Entwicklungs- und Planungszeiten verstärkt sich der Kostendruck auf die Automobilproduzenten. Deshalb haben sich die Protagonisten der Automobilbranche die Beschleunigung des Produktionsanlaufs auf die Fahnen geschrieben. Dr. Reithofer als Produktionsvorstand von BMW formuliert es 2002 so: „Wenn wir ein neues Produkt statt in neun Monaten vielleicht in drei Monaten auf volle Produktionskapazität fahren, dann bedeutet das bares Geld für das Unternehmen“ [Rei02]. Der Automobilhersteller Audi schaffte es bereits beim Anlauf des Audi A3, die Kammlinie in vier Monaten zu erreichen [Scho04].

Um die hochgesteckten Ziele zu meistern, setzen die Automobilbauer unter anderem auf die Werkzeuge und Methoden der Digitalen Fabrik. So stellt der Audi-Produktionsvorstand Jochen Heizmann im Jahr 2004 fest: „Die virtuellen Planungsmethoden erhöhen die Planungssicherheit enorm und versetzen uns in die Lage, bei der Umsetzung Zeit und Geld einzusparen.“ [Scho04] Auch Sue Unger, Chief Information Officer bei DaimlerChrysler, verkündete bereits 2002 auf einer

Pressekonferenz in New York, dass bis 2005 alle Produktionsprozesse am Computer simuliert werden sollen [Ung02].

1.2 Zielsetzung und Motivation

Nach dem Fachausschuss „Digitale Fabrik“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) ist die Digitale Fabrik „der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen und Methoden, unter anderem der Simulation und 3D-Visualisierung. Ihr Zweck ist die ganzheitliche Planung, Realisierung, Steuerung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Fabrikprozesse und -ressourcen in Verbindung mit dem Produkt“ [Vdi03].

Während bei *Westkämper* mit Hilfe des Digitalen Modells Strukturen und Produktionsprozesse erlebbar gemacht werden sollen, sieht *Menges* auch die Steuerung und Überwachung des tatsächlichen Fabrikbetriebs als Aufgabenfelder der Digitalen Fabrik [Wes03, Ciu04].

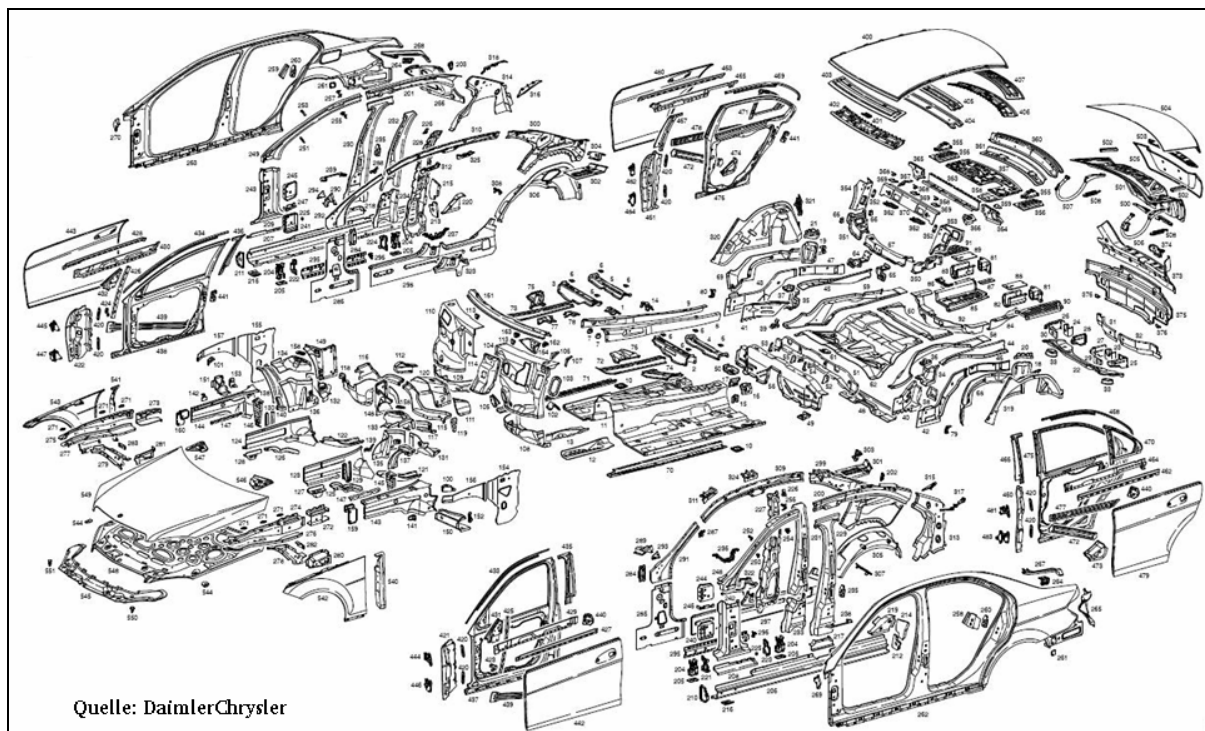


Abbildung 1.2.1: Karosserieaufbauteile der Mercedes Benz C-Klasse

In der Unternehmenspraxis wird die Digitale Fabrik prozessorientiert definiert. Sie wird hier als Planungsmethodik gesehen, die Werkzeuge und Methoden der Digitalen Fabrik mit dem Planungsprozess integriert. So wird eine Planung mit ganzheitlicher Betrachtungsweise möglich [Rei04; Kam05].

Die Durchdringung mit digitalen Methoden und Werkzeugen in den klassischen Planungsgewerken der Automobilbranche, der Fabrik-, Logistik-, Presswerk-, Rohbau- und Montageplanung, ist sehr unterschiedlich. Während beispielsweise für die Montageplanung bereits integrative Ansätze existieren [Rei00], besteht die Digitale Fabrik im Teilbereich der Presswerkplanung aus Insellösungen.

Die Presswerkplanung beschäftigt sich dabei mit der Planung und Projektierung aller zur Produktion einer Baureihe benötigten Karosserieaufbauteile. **Abbildung 1.2.1** zeigt die zu meisternde Komplexität am Beispiel der Mercedes-Benz C-Klasse Limousine aus dem Jahr 2007. Insgesamt müssen die circa 350 verschiedenen Bauteile des Karosserierohbaus fertigungstechnisch beplant und projektiert werden. Auf Grund der in der Ausgangssituation beschriebenen Ziele der Verkürzung von Planungszeiten bei gleichzeitiger Steigerung der Planungsqualität, wird ein neues Vorgehen im Presswerkplanungsprozess notwendig. Prof. Dr. Haller, bis zum Jahr 2003 Leiter der Produktionsplanung der Mercedes Car Group, sieht dabei die Werkzeuge und Methoden der Digitalen Fabrik als wichtige Bausteine, um diese Ziele zu erreichen [Ren02a].

Vereinzelt werden in der Presswerkplanung bereits Werkzeuge der Digitalen Fabrik in Form von Insellösungen produktiv genutzt. So werden beispielsweise innerhalb der Serienwerkzeugmethodenplanung die Tiefziehoperation und ausgewählte Folgeprozesse mit Hilfe von FEM-Simulationssoftware schon vor der Werkzeugkonstruktion abgesichert [Roll03]. Es können zwar bereits einzelne Teilbereiche einer Presswerkplanung in einem digitalen Modell abgebildet und simuliert werden, in der digitalen Durchgängigkeit gibt es jedoch Defizite.

Um den Herausforderungen vor denen die Automobilindustrie in der Prozesskette Karosserieaufbauteile steht zu begegnen, wird deshalb ein neues, durchgängiges Vorgehen benötigt. Anspruch der Arbeit ist es, eine integrierte Methodik zur Presswerkneutypplanung (IMPRESS) zu entwickeln, die durchgängig digital die frühe Phase des Planungs- und Entwicklungsprozesses abdeckt. Dabei soll insbesondere die Integration einer technischen, prinzipiellen Machbarkeitsanalyse mit einer wirtschaftlichen Herleitung von Kosten erreicht werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Um die aufgeführten Ziele zu erreichen, wird folgendes Vorgehen gewählt. Wie **Abbildung 1.3.1** zeigt, soll zunächst mit einer umfangreichen Analyse des Standes der Technik sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis ein breites Fundament gelegt werden.

Nach einer Definition einzelner Kernbegriffe legt Kapitel 2 das Hauptaugenmerk auf die gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie. Nach einer kurzen Erläuterung der umformtechnischen Grundlagen wird die traditionelle Planungsprozesskette Pressbauteile vorgestellt. Im Anschluss werden insbesondere die Herausforderungen, vor denen die Automobilindustrie steht, diskutiert und an Beispielen visualisiert.

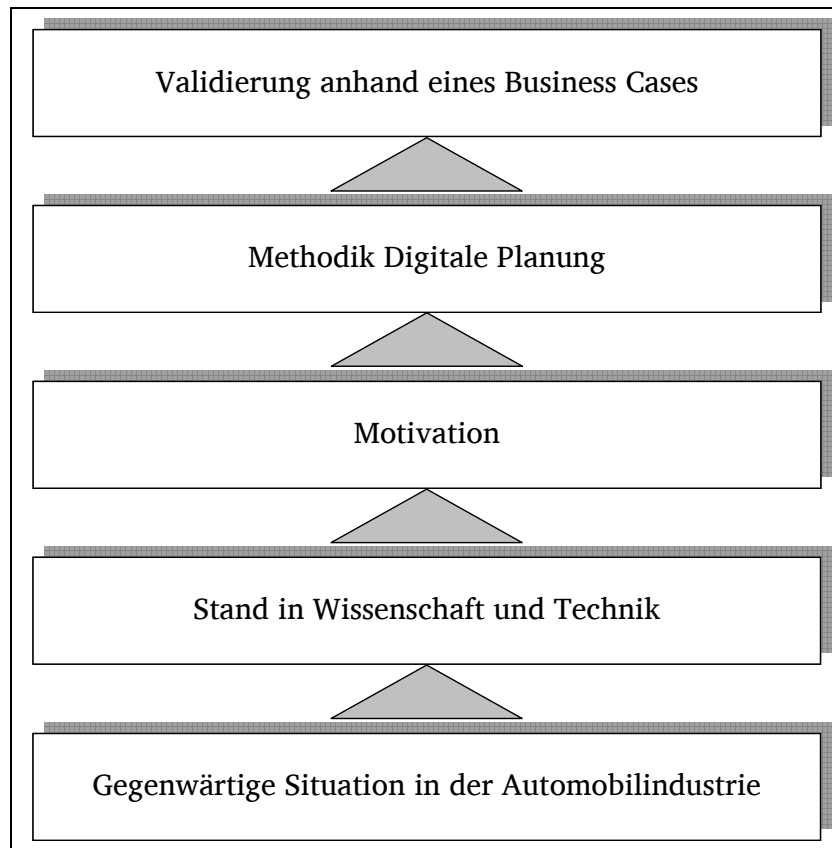


Abbildung 1.3.1: Aufbau der Arbeit

In Kapitel 3 werden im Rahmen des Standes in Wissenschaft und Technik verschiedene bestehende Planungsmethoden vorgestellt. Dabei werden die allgemeinen Methoden der Produktionsplanung von den speziellen unterschieden. Zu den allgemeinen Methoden zählen

- Business Process Reengineering,
- Wissensmanagement,
- Qualitätsmanagement sowie
- Change Management.

Unter den speziellen Konzepten der Produktionsplanung wird neben

- dem Computer Integrated Manufacturing,
- den featurebasierte Prozessketten und
- dem Product Lifecycle Management vor allem
- die Digitale Fabrik vorgestellt.

Im Anschluss werden in Kapitel 4 die Planungsmethoden unter dem Gesichtspunkt der Herausforderungen für die Automobilindustrie innerhalb der Planungsprozesskette Blechbauteile bewertet. Der Handlungsbedarf für eine neue Planungsmethodik wird schließlich abgeleitet.

In Kapitel 5 soll die neue Methodik zur Presswerkneutypplanung IMPRESS vorgestellt werden. Nach einer kurzen Diskussion der verfolgten Ziele werden der Grundaufbau vorgestellt und grundlegende Begriffe definiert. Anschließend werden die methodischen Schritte von der Analyse und Integration der generellen Machbarkeit, der Planung des Fertigungskonzeptes, der Analyse der Herstellbarkeit bis hin zur Ermittlung der Teilekosten und dem Abgleich mit den Zielkosten vorgestellt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Integration der Methodik in den Planungs- und Entwicklungsprozess.

Im Rahmen des Kapitels 6 wird die vorgestellte Planungsmethodik mit Hilfe eines Beispiels aus der Unternehmenspraxis exemplarisch dargestellt und validiert. Anhand eines Bauteils werden die methodischen Schritte der neuen Planungsmethodik für zwei unterschiedliche Planungsalternativen durchlaufen, um die beiden Alternativen miteinander zu vergleichen und eine Handlungsempfehlung abzuleiten.

Zuletzt gibt Kapitel 7 eine Zusammenfassung der Ergebnisse und schließt mit einem Ausblick auf die Zukunft die Arbeit ab.

2 Gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie

Im folgenden Kapitel 2 soll die gegenwärtige Situation in der Automobilindustrie im Umfeld der Prozesskette Blech beleuchtet werden. Um die Anforderungen aus der Planungspraxis an eine IT-gestützte Presswerkplanungsmethodik zu verstehen, ist es unabdingbar, einige Grundlagen zu klären. So sollen

- in Abschnitt 2.1 einige grundlegende Begriffe definiert sowie die Ausgangssituation in der Automobilindustrie dargestellt,
- in Abschnitt 2.2 umformtechnische Grundlagen geklärt,
- in Abschnitt 2.3 ein generischer Presswerkplanungsprozess vorgestellt,
- in Abschnitt 2.4 die Herausforderungen der Automobilindustrie an die Prozesskette Karosserieaufbauteile erläutert und
- in Abschnitt 2.5 eine Zusammenfassung des Kapitels gegeben werden.

2.1 Begriffsdefinitionen und Ausgangssituation

2.1.1 Produktionsplanung

Mit Planung wird im Allgemeinen die gedankliche Vorwegnahme einer zukünftigen Handlung bezeichnet. Nach *Wöhe* bedeutet Planen also das „Treffen von Entscheidungen, die in die Zukunft gerichtet sind“ [Wöh00].

Auf Grund der hohen Komplexität in der Unternehmenspraxis wird die betriebliche Planung in einzelne Teilplanungsbereiche zerlegt. *Wöhe* zählt hier neben der Absatzplanung, der Produktionsplanung und der Investitionsplanung auch die Finanzierungsplanung auf. Der Absatzplan legt dabei fest, welche Produkte in welcher Menge zu welchem Preis abgesetzt werden sollen. Auf Basis dieser Plandaten beschäftigt sich die Produktionsplanung unter anderem mit der Dimensionierung der Betriebsmittel- und Personalkapazitäten. Während sich die Investitionsplanung mit der optimalen Auswahl der benötigten Anlagen auseinandersetzt, sucht die Finanzplanung nach der kostengünstigsten Finanzierungsalternative [Wöh00].

2.1.2 Presswerkplanung

Die Wertschöpfungskette der Produktion von Automobilen besteht prinzipiell aus sechs Kerngewerken. Neben dem Presswerk sind das der Karosserierohbau, die Fertigung des Antriebsstrangs, die Oberflächentechnik, die Logistik sowie die Fahrzeugmontage. Im Presswerk werden durch entsprechende Umformverfahren die einzelnen Karosserieteile gefertigt. Durch verschiedenste Fügetechniken entsteht im Karosserierohbau aus den bis zu 500 einzelnen Blechteilen die Rohkarosse. Im nächsten Schritt wird diese nach diversen oberflächentechnischen Vorbehandlungen lackiert. Mit der Montage des entsprechenden Motors, des Getriebes und mehrerer tausend weiterer Einzelteile entsteht schließlich in der Fahrzeugmontage das fertige Automobil.

Die Herstellung der einzelnen Blechteile im Presswerk wird in Form einer Serienproduktion auf Pressen verschiedenen Typs durchgeführt. Da die Investition in eine neue Presse einen sehr langfristigen und fahrzeugprojektunabhängigen Charakter besitzt, gliedert sich die Planung im Presswerkumfeld in zwei Teilbereiche.

Neben der fahrzeugprojektspezifischen ist dies die strategische Maschinen- und Anlagenplanung. Die strategische Planung gibt die langfristigen Rahmenbedingungen vor. Auf Basis von grundsätzlichen Entscheidungen zum zukünftigen Teilespektrum, zum Fertigungsstandort und zur Fertigungstechnologie werden entsprechend Pressen beschafft [Baur02].

Der über die Zeit entstandene Maschinenpark ist schließlich eine limitierende Eingangsgröße für die fahrzeugprojektspezifische Presswerkplanung. Für jeden Fahrzeugtyp müssen alle Karosserieaufbauteile fertigungstechnisch beplant werden. Im Einzelfall werden Sourcing-Entscheidungen sowohl für das Bauteil als auch für die benötigten Betriebsmittel getroffen. Diese müssen schließlich beschafft und bis zur Abnahme planerisch begleitet werden.

Im Folgenden wird mit Presswerkplanung nicht die strategische Maschinen- und Anlagenplanung, sondern die fahrzeugprojektspezifische Planung bezeichnet. Die folgenden Abschnitte gehen auf die Aufgabenbereiche und den traditionellen Prozess der Presswerkplanung näher ein.

2.1.3 Ausgangssituation für die Presswerkplanung

Um die Grundlage für die Entwicklung der neuen Planungsmethodik IMPRESS zu schaffen, werden im Folgenden die Rahmenbedingungen des Presswerkplanungsprozesses dargestellt.

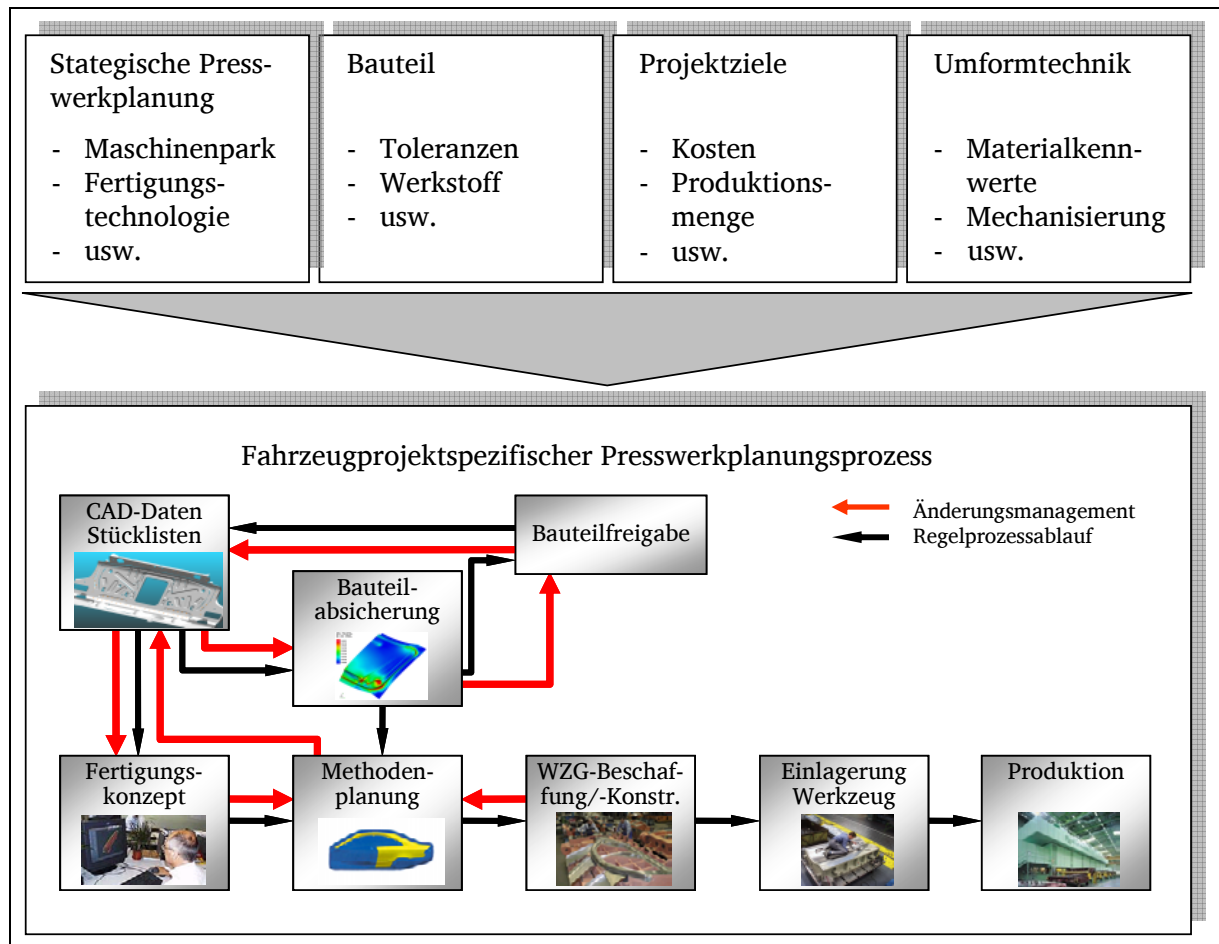


Abbildung 2.1.1: Rahmenbedingungen für die Presswerkplanung

Abbildung 2.1.1 fasst die Rahmenbedingungen und Einflussgrößen, die für eine fahrzeugprojektspezifische Presswerkplanung maßgebend sind, zu den vier Bereichen strategische Anlagenplanung, Bauteil, Projektziele und Umformtechnik zusammen.

Eine wichtige limitierende Bedingung sind die Ergebnisse der strategischen Anlagenplanung, insbesondere der zur Verfügung stehende Maschinenpark. Vor dem Hintergrund von Pressenlaufzeiten von über 20 Jahren und Beschaffungszeiträumen von mehr als zwei Jahren wird deutlich, dass der Maschinenpark und damit die vorhandene Fertigungstechnologie nicht kurzfristig beeinflusst werden kann. Zudem

schränkt die technologische Beschaffenheit der Pressen die Planungsalternativen bei der Bepanung eines Bauteils ein. So bestimmen beispielsweise allein die Abmessungen einer Seitenwand, auf welchen Pressenklassen diese überhaupt gefertigt werden kann.

Strategische Anlagenplanung Presswerk		
Wissensgebiet Umformtechnik Presswerkstechnologie - Maschinen - Werkzeuge - Handling - Verfahren - Belegungsplanung - Fertigungstechnologie		Wissensgebiet Fabrikplanung - Standortbestimmung - Logistik - Layoutplanung - Anforderungen an Baukörper - Anforderungen an TGA
Wissensgebiet Unternehmensmanagement		
Projektmanagement - Planungsmethoden - Planungsgrundsätze - Projektorganisation - Projektmonitoring - Projektreporting - Projektdokumentation	Zielsystem - Vision - Strategische Ziele - Operative Ziele - Kennzahlen	Entscheidungs-techniken - Nutzwertanalyse - Wirtschaftlichkeitsberechnung - Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Abbildung 2.1.2: Wissensgebiete [Baur02]

Abbildung 2.1.2 zeigt zudem die für die Durchführung einer Strukturplanung Presswerk relevanten Wissensgebiete.

Auch das zu beplanende **Bauteil** selbst hat große Auswirkungen. Sowohl die Bauteilklasse, die geforderten Toleranzen, der verwendete Werkstoff als auch die Geometrie des Bauteils beeinflussen die Presswerkplanung.

Eine weitere Rahmendbedingung resultiert aus den jeweiligen Fahrzeugprojekten. In erster Linie sind dies die **Projektziele**. Diese Inputgrößen, beispielsweise die geplante Produktionsmenge oder die Kostenziele, haben einen großen Einfluss auf planerische Entscheidungen. So ist es beispielsweise sinnvoll, bei Nischenmodellen andere Bezugsarten für die Bauteile als bei Volumenmodellen zu wählen.

Zuletzt seien die physikalischen Gesetze der **Umformtechnik** als Rahmendbedingungen genannt. Im Folgenden sollen die für die fahrzeugprojektspezifische Presswerkplanung relevanten Umfänge aus diesem Gebiet dargestellt werden.

2.2 Umformtechnische Grundlagen

2.2.1 Der Karosseriebauteilfertigungsprozess

Prinzipiell werden die Umformverfahren gemäß DIN 8582 nach der Hauptbeanspruchung eingeteilt. Neben den in **Abbildung 2.2.1** dargestellten Umformverfahren sind für die Karosseriebauteilfertigung zusätzlich das Zerteilen und das Fügen durch Umformen von Bedeutung.

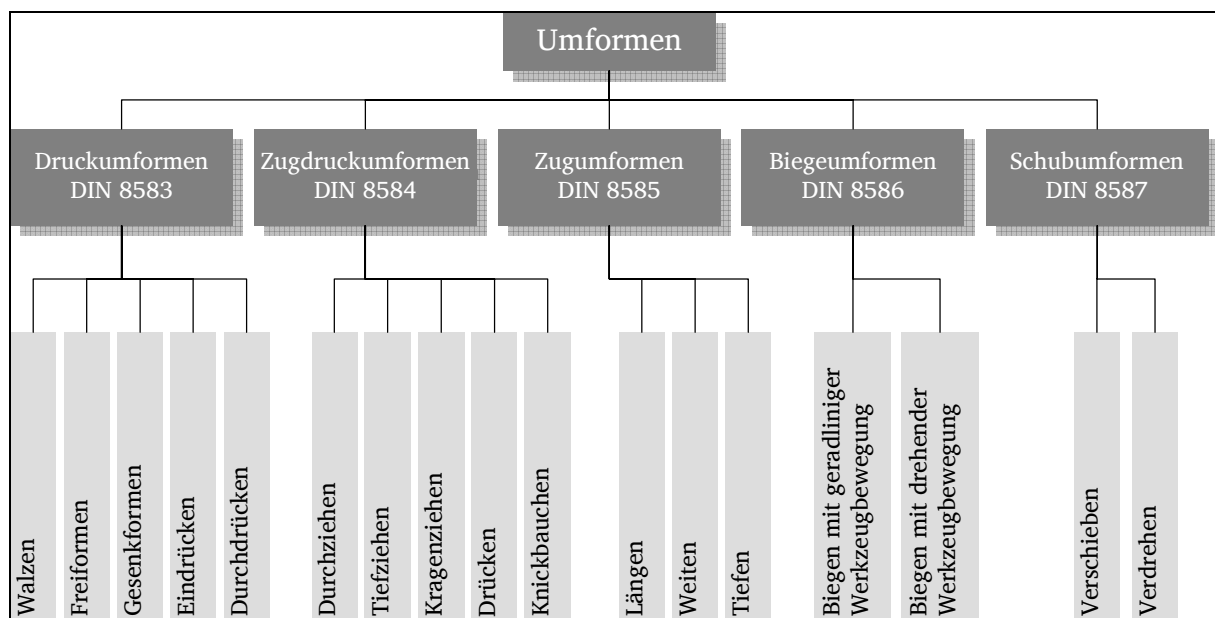


Abbildung 2.2.1: Einteilung der Fertigungsverfahren des Umformens [DIN8582]

In der Praxis werden oftmals Verfahrenskombinationen benutzt. So überlagern sich beim Ziehen komplizierter Karosseriebauteile moderner Fahrzeugtypen Streckzieh- und Tiefziehanteile.

Den Prozess zur Herstellung einer Beplankung Seitenwand illustriert **Abbildung 2.2.2**. Von den diversen Rohmateriallieferanten wird zunächst das jeweilige Stahl- bzw. Aluminiumblech in Form so genannter Coils angeliefert. Von diesen Coils werden die Platinen mit Hilfe eines Platinenschneidwerkzeugs in einer dedizierten Platinenschneidanlage geschnitten.

Nach der Beölung zur gezielten Verminderung von Reibung wird die Platine in die Pressenanlage eingebracht. Als Produktionspressen setzen die Großpresswerke in der Automobilindustrie vor allem mechanische Pressen mit fünf bis sieben Stufen und unterschiedlicher Mechanisierung ein. In der ersten Pressenstufe erfolgt der Ziehprozess. Dabei handelt es sich weder um klassisches Tief- noch Streckziehen. Durch Aufbringen einer definierten Niederhalterkraft, beispielsweise mit Hilfe eines Ziehkissens in der Ziehpresse, liegt das Umformfenster zwischen den beiden Extremen.

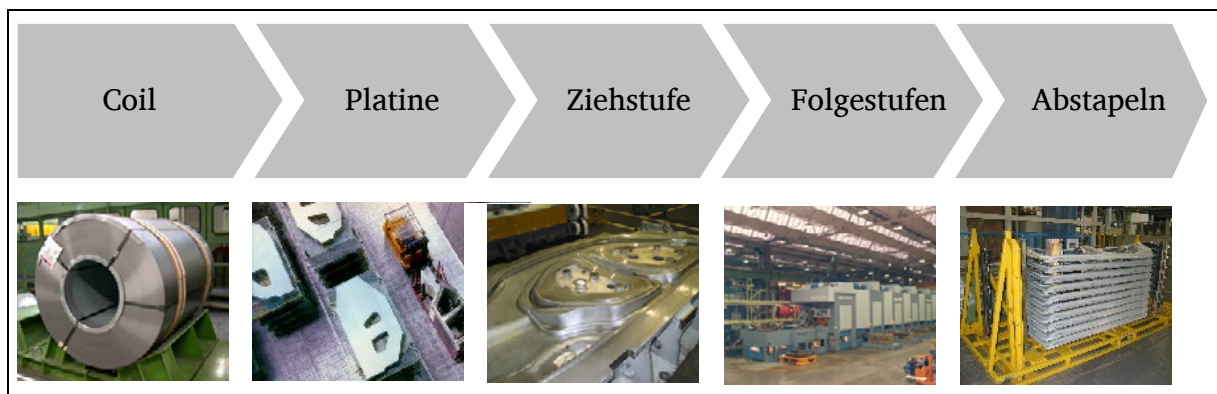


Abbildung 2.2.2: Die generischen Stufen im Presswerkfertigungsprozess

Über die pressenspezifische Mechanisierung wird das aus der Ziehstufe resultierende Ziehteil in die Folgestufen transportiert. Dort werden weitere Operationen durchgeführt, um zum Fertigbauteil zu gelangen. Neben Beschneiden und diversen Nachformoperationen sind dies vor allem das Lochen und das Abkanten. Die fertig umgeformten Blechteile werden schließlich in Ladungsträgern gestapelt und eingelagert, um zeitnah den Karosserierohbau beliefern zu können.

2.2.2 Eingesetzte Pressentechnologien

Die für die Fertigung von Karosseriebauteilen relevanten Pressentechnologien werden im Folgenden nach den in **Abbildung 2.2.3** dargestellten sieben Hauptparametern systematisiert.

Zunächst stellt sich die Frage nach der Art der Stufenanordnung. In den Presswerken wird dabei zwischen den Pressenlinien und den so genannten Transferpressen unterschieden. Bei einer Pressenlinie werden mehrere Einzelpressen hintereinander aufgereiht und zumeist mit Hilfe einer Robotermechanisierung verkettet. Die Stärken von Pressenstraßen liegen vor allem in der Möglichkeit zur stärkeren Verkippung des

Bauteils innerhalb der Stufen und der höheren Flexibilität durch die variable Einstellung der Einzelpressen [Mül99].

Der Nachteil von Pressenlinien ist vor allem in der vergleichsweise eher geringen Ausbringung auf Grund der trägen Roboter zu sehen. Deshalb wurden so genannte Transferpressen entwickelt. Insbesondere bei Großteil-Transferpressen, auf denen größere Blechteile bis zu den Abmessungen von 2500 x 1500 mm² verarbeitet werden können, entspricht die Leistungssteigerung bis zu 50 Prozent gegenüber automatisierter Pressenlinien. Erreicht wird dies durch den Einsatz eines einzigen Transfersystems von der ersten bis zur letzten Bearbeitungsstation. Da die einzelnen Stufen zudem näher aneinander rücken und damit mehrere Stationen unter einem Stößel Platz finden, reduziert sich auch der Investitionsaufwand um 20 bis 40 Prozent [Schu96].



Abbildung 2.2.3: Relevante Hauptparameter

Ein weiterer Parameter aus dem Bereich der Pressentechnologie ist die Stufenanzahl der Presse. Hierunter wird die für die Herstellung der Bauteilendgestalt benötigte Anzahl an Operationsstufen verstanden. Im Einsatz sind zumeist Pressen mit fünf bis sieben Stufen. Eine maximale Stufenanzahl von fünf ist also beispielsweise ein Ausschlusskriterium für komplexe Bauteile, die inklusive Ziehstufe mehr als fünf Stufen benötigen. Eine Sonderform von Transferpressen sind so genannte Folgeverbundpressen. Sie verfügen nur über einen einzigen Stößel auf dem nur ein Werkzeug montiert werden kann. Da der Stößel jedoch größer ist als bei klassischen Stufen-transferpressen werden mehrere methodische Inhalte in einem Werkzeug realisiert. Zudem ergibt sich hier oftmals die Möglichkeit die Presse direkt von der Blechrolle mit Rohmaterial zu beschicken. Ein dedizierter Arbeitsvorgang Platinenschnitt entfällt dann.

Für die fahrzeugprojektspezifische Presswerkplanung ist zudem die pressenindividuelle Mechanisierung interessant. Neben der bei automatisierten Pressenlinien eingesetzten Robotermechanisierung existieren für Transferpressen unterschiedlichste Teiletransportkonzepte. Bei dem Greiferschienentransfersystem führt der Transferbalken mit dem Pressenantrieb mechanisch synchronisierte Längs-, Vertikal- und Querbewegungen durch. Bei der Querbewegung wird das Blechteil im Werkzeug aufgegriffen, anschließend in einer vertikalen Bewegung angehoben und schließlich in einer Längsbewegung zur nächsten Bearbeitungsstation transportiert. Während klassische Folgeverbundpressen ebenfalls über Greiferschienen mechanisiert sind, erfolgt der Teiletransport bei modernen, progressiven Transferpressen direkt über den Blechstreifen.

Da bei der Greifermechanisierung das Bauteil nur an den Rändern gegriffen wird, können sich bei großen, instabilen Teilen, wie beispielsweise Dächern oder einteiligen Seitenwänden, Verformungen ergeben. Um dies zu verhindern, wurde die Saugerbalkentechnologie entwickelt, die mit unterdruckgetriebenen Saugnäpfen das Bauteil an fest definierten Punkten aufnimmt und zur nächsten Stufe transportiert. **Abbildung 2.2.4** stellt einen Mechanisierungsarm einer Saugerbalkenmechanisierung schematisch dar. Mit Hilfe von zwischen den Stufen platzierten Teileablagen kann bei Saugerbalkentransferpressen zudem eine größere Bauteilverkipfung als bei greifermechanisierten Großteilstufenpressen realisiert werden.

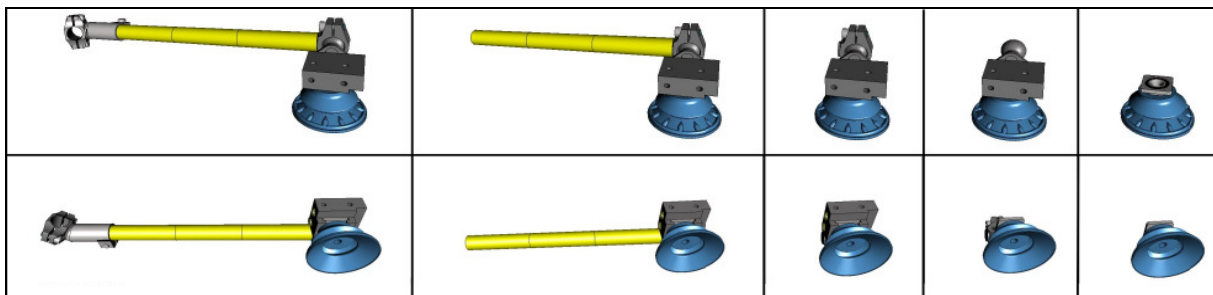


Abbildung 2.2.4: Aufbau eines Saugermechanisierungsarms

Bei der neuen Technologie der Crossbarsaugertransferpresse mit Schwingarmmechanisierung entfällt diese Teileablage. **Abbildung 2.2.5** zeigt die Pressentechnologie bei der Doppelteilverfertigung der Fahrer- und Fondtür der Mercedes-Benz A-Klasse im Presswerk des Werkes Sindelfingen der DaimlerChrysler AG. Im Gegensatz zu den konventionellen Transfersystemen, die mit zentralen Antrieben arbeiten, besteht das modulare Transfersystem der Crossbarsaugertransferpresse aus autonomen Einheiten, die mit eigenen elektrischen Antrieben ausgestattet sind. Die Bewegungs-

kurven des modularen Systems sind vollständig frei programmierbar. Der unabhängige Antrieb gestattet die individuelle Anpassung von Pressengeschwindigkeit und Transferbewegung, so dass auch Teile mit schwieriger Form und geneigter Bearbeitungslage im Werkzeug im Dauerbetrieb erzeugt werden können [Hin03].



Abbildung 2.2.5: Doppelteilefertigung mit Crossbarsaugertransfermechanisierung

Ein weiterer wichtiger Parameter für die fahrzeugprojektspezifische Presswerkplanung ist die Art der Ziehstufe. Diese kann als einfach wirkende oder als doppelt wirkende Presse ausgeführt sein. Während eine einfach wirkende Presse nur über einen Stößel angetrieben wird, verfügt die doppelt wirkende Ziehpresse über einen separaten Blechhalterstößel. Moderne Transferpressen besitzen eine einfach wirkende Ziehstufe mit einem Ziehkissen, das den Blechhalter antreibt und damit den bei doppelt wirkenden Pressen üblichen zweiten Blechhalterstößel ersetzt. Die Auswirkungen auf die Ziehwerkzeuge und die Unterschiede der beiden Fertigungsverfahren sind Gegenstand von Abschnitt 2.2.3.

Neben der Art der Ziehstufe ist für die Presswerkplanung zudem der Werkzeugeinbauraum entscheidend. Der für das Werkzeug maximal vorgesehene Raum wird von der Pressentischgröße, der Mechanisierung und dem Stößel- bzw. Blechhalterhub

begrenzt. Die in **Abbildung 2.2.5** dargestellte Crossbarsaugertransferpresse besitzt beispielsweise eine Tischgröße von 3700 x 2200 mm² sowie eine maximale Werkzeughöhe von 1270 mm. Diese Abmessungen bestimmen damit auch, welche Bauteile auf dieser Produktionsanlage wirtschaftlich gefertigt werden können. So rentiert sich beispielsweise die Fertigung der Beplankung Tür auf der Crossbarsaugertransferpresse nur als Doppelteulfertigung.

Zwei weitere Eingangsparameter für die fahrzeugprojektspezifische Presswerkplanung sind die maximale Hubzahl der Presse und die Presskraft. Die maximale Hubzahl bestimmt maßgeblich die Teileausbringung und wird einerseits von der Presse selbst, von der Art der Mechanisierung, aber auch von der Komplexität der eingesetzten Werkzeuge determiniert. Auf Grund der genannten Einflussgrößen wird während einer Arbeitsschicht selten die maximale Hubzahl ausgenutzt.

Die genannte Crossbarsaugertransferpresse im Presswerk des Werkes Sindelfingen der DaimlerChrysler AG besitzt eine Presskraft von insgesamt 61000 kN. Dabei entfallen 21000 kN auf die Ziehstufe und jeweils 10000 kN auf jede der fünf Folgestufen. Dabei ist die Presskraft vor allem dann relevant, wenn Bauteile als Mehrfachbauteile zusammengelegt werden sollen.

Die Anzahl der benötigten Werkzeuge pro Bauteil hängt davon ab, in wie vielen Stufen das Bauteil in der Presse gefertigt wird. Im Folgenden sollen die in der Automobilindustrie eingesetzten Werkzeugtechnologien näher betrachtet werden.

2.2.3 Eingesetzte Werkzeugtechnologien

Ein klassisches Großwerkzeug für die Herstellung von Karosserieaufbauteilen besteht prinzipiell aus zwei Werkzeugteilen, einem Werkzeugoberteil und einem Werkzeugunterteil, die auf dem Pressentisch aufgespannt werden.

Für die Herstellung von den in der Automobilindustrie üblichen, komplexen Bauteilgeometrien werden im Allgemeinen mehrere Werkzeugstufen benötigt. Im Folgenden sollen die Werkzeugtypisierung nach der Fertigungsart sowie anschließend ein generischer Erstellungsprozess von Großwerkzeugen dargestellt werden.

Typisierung von Großwerkzeugen

Wie in **Abbildung 2.2.7** zu sehen, können die Großwerkzeuge nach den verwendeten Fertigungsarten in Schneid-, Loch-, Umform-, Füge- und Kombinationswerkzeuge unterschieden werden. Ein weiteres Diversifizierungsmerkmal ist die Klassifizierung in Gesamtverbund- und Folgeverbundwerkzeuge.

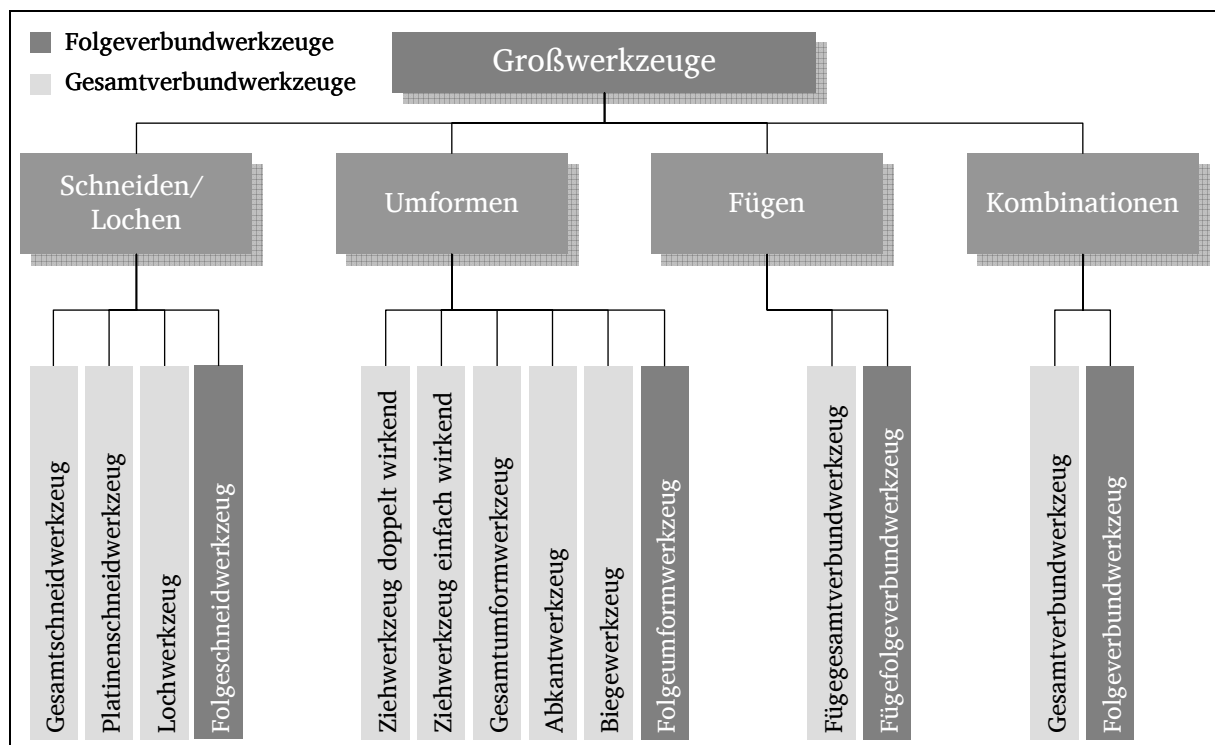


Abbildung 2.2.6: Typisierung der häufig verwendeten Großwerkzeuge

Das klassische Gesamtverbundwerkzeug repräsentiert eine Stufe innerhalb eines Verbundes an Werkzeugen, die zur Fertigung eines Bauteiles verwendet werden. Dabei ist jede Werkzeugstufe auf einem separaten Pressentisch montiert und verfügt über einen eigenen Gussgrundkörper als Grundaufbau. Folgeverbundwerkzeuge finden in Folgeverbundpressen Einsatz. Sie zeichnen sich vor allem durch mehrere Werkzeugstufen aus, die in einem Werkzeuggrundkörper vereint sind und auf dem einzigen Stößel einer Folgeverbundpresse montiert sind. Eingangsmaterial für diese Art der Fertigung sind keine geschnittenen Platinen. Vielmehr erfolgt die Beschickung direkt von der Blechrolle. Die Mechanisierung funktioniert innerhalb der Presse entweder über Greifer oder direkt über den Blechstreifen, wobei dann die Bauteile über einen Steg mit dem Streifen bis zur letzten Operation verbunden sein müssen. Je nach den Fertigungsverfahren, die in einem Folgeverbundwerkzeug

integriert sind, werden Folgeschneid-, Folgeumform-, Fügefolgeverbund- und Folgeverbundwerkzeug voneinander unterschieden.

Die gebräuchlichsten Umformwerkzeuge sind das Ziehwerkzeug, das Gesamtumform-, das Folgeumform-, das Biege- und das Abkantwerkzeug. Das Ziehwerkzeug wird nach dem verwendeten Tiefziehverfahren in einfach und doppelt wirkende Werkzeuge unterschieden.

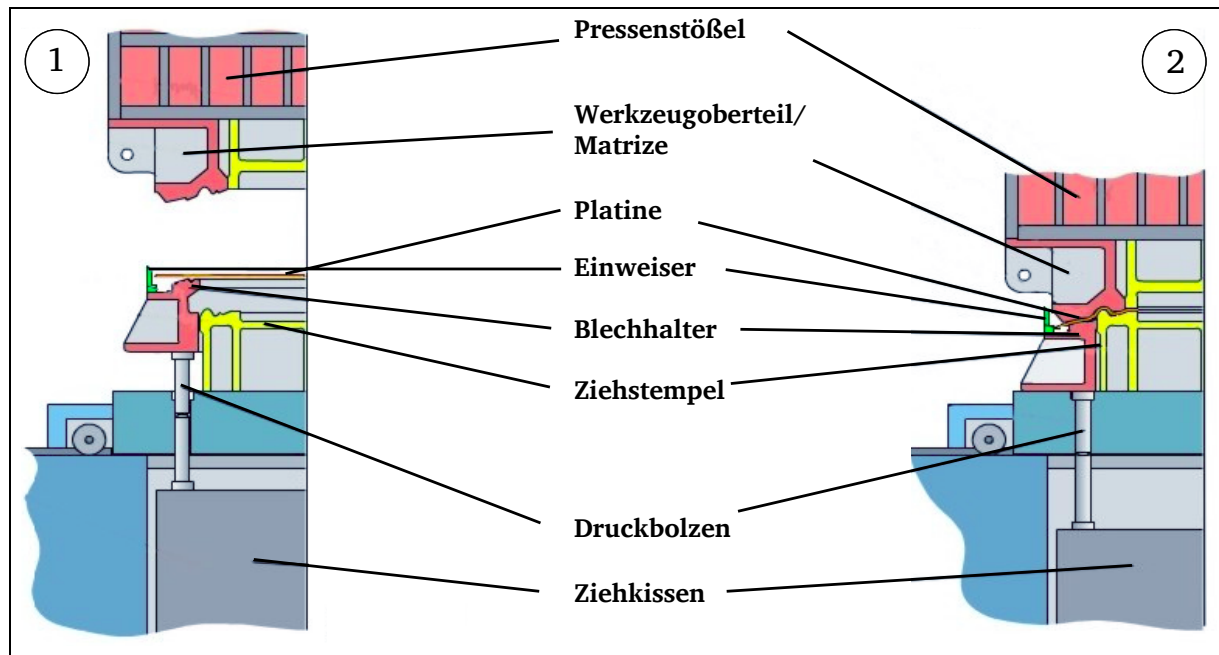


Abbildung 2.2.7: Prinzipieller Aufbau eines Ziehwerkzeuges [Mül07]

Die **Abbildung 2.2.8** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Ziehwerkzeuges am Beispiel des einfach wirkenden Zuges. Die wichtigsten Komponenten bestehen aus dem Ziehstempel, der Matrize im Werkzeugoberteil und dem Blechhalter. Wie in **Abbildung 2.2.9** zu sehen, sind beim einfach wirkenden Zug nur das Werkzeugoberteil und der Blechhalter beweglich gelagert.

Im ersten Schritt des Verfahrens ist das Werkzeug geöffnet. Die Platine liegt auf dem Blechhalter. Anschließend schließt die Matrize mit dem Blechhalter und klemmt die Platine ein. Durch Ansteuerung des Ziehkissens wird über die Druckbolzen im Unterteil eine zusätzliche Rückhaltekraft auf den Blechhalter übertragen. Je nach Bauteilgeometrie und Pressentechnologie kann diese Kraft auch über den Bauteilrandverlauf variiert werden. Zur eigentlichen Formgebung bewegen sich Matrize und Blechhalter mit dem eingeklemmten Blech über den Stempel. Zuletzt öffnet sich

das Werkzeug wieder und der Blechhalter wirft das fertig gezogene Ziehteil aus, indem er wieder in die Ausgangsposition zurück fährt.

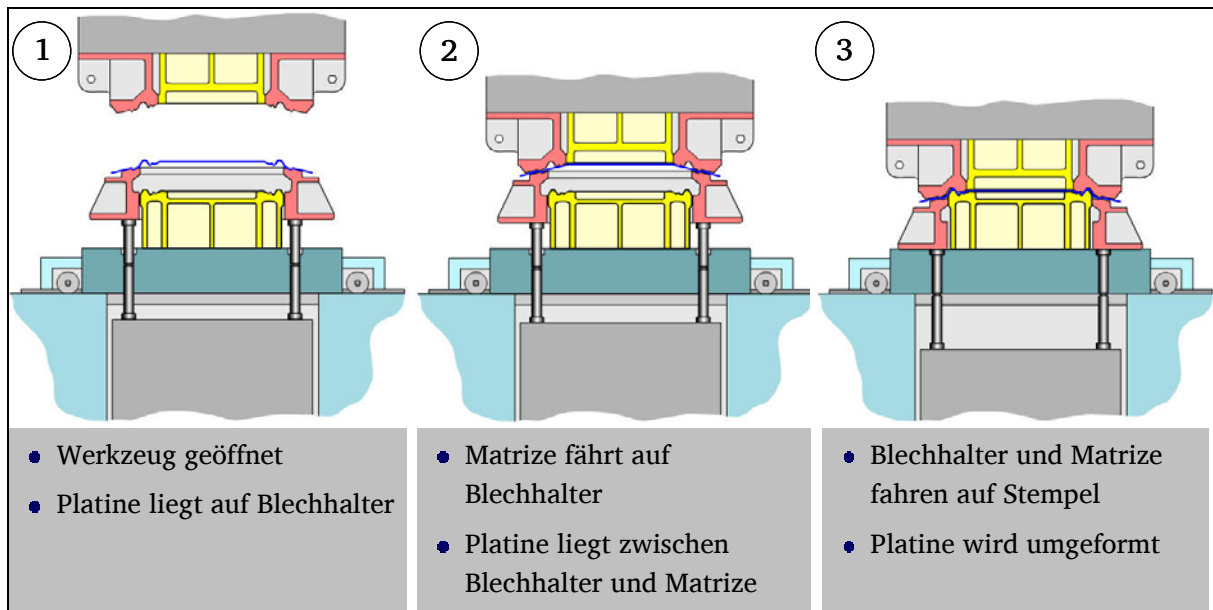


Abbildung 2.2.8: Ziehprozess bei einfach wirkendem Zug [Mül07]

Der doppelt wirkende Zug zeichnet sich – im Gegensatz zum einfach wirkenden Tiefziehen – durch einen zweiten Stößel für den Ziehstempel aus. Wie **Abbildung 2.2.10** zeigt, bestehen die beweglichen Teile aus dem Blechhalter und dem Stempel. Die Platine liegt zum Ausgangszeitpunkt auf der Matrize. Anschließend bewegt sich der Blechhalter auf die Matrize und klemmt das Blech zwischen Matrize und Blechhalter ein. Für die Formgebung fährt der Stempel auf die Matrize. Zuletzt öffnet sich das Werkzeug wieder, und das fertige Ziehteil wird ausgeworfen.

Eine weitere Klasse von Umformwerkzeugen sind Abkantwerkzeuge, bei denen ein Bereich des Bauteils durch eine Relativbewegung einer Aktivbacke gegen eine Passivbacke umgeformt wird. In der Automobilindustrie werden über dieses Fertigungsverfahren zumeist Bauteilflansche hergestellt, die nicht im eigentlichen Tiefziehprozess gezogen werden können.

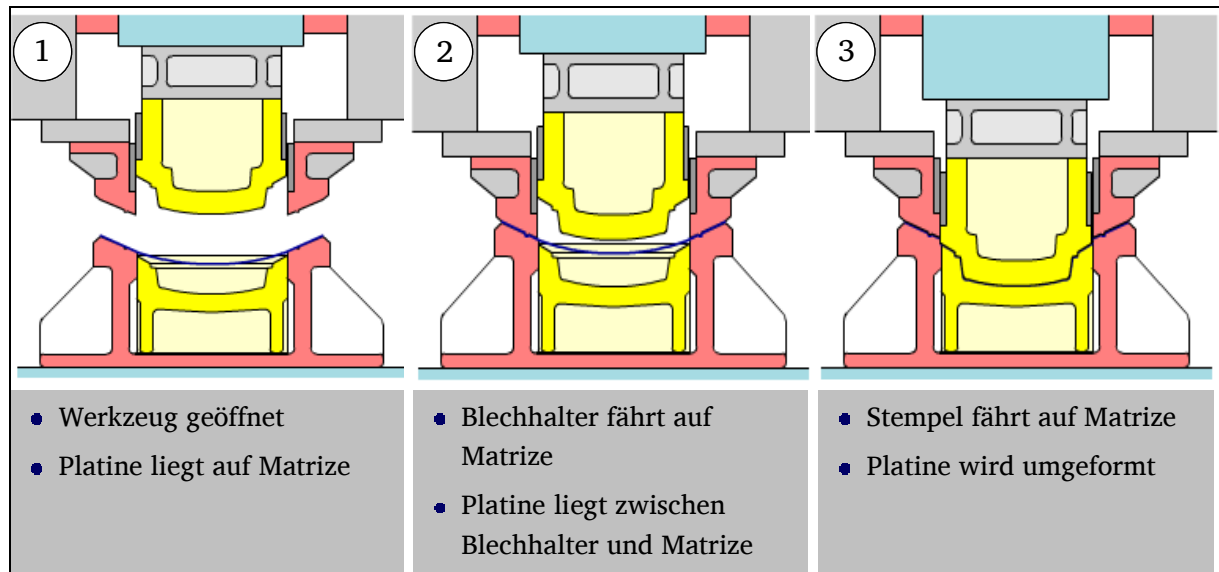


Abbildung 2.2.9: Ziehprozess im doppelt wirkenden Zug [Mül07]

Die in der Praxis am häufigsten eingesetzten Schneid- und Lochwerkzeuge gliedern sich in Platinenschneid-, Gesamtschneid- und Lochwerkzeuge. Das Platinenschneidwerkzeug wird verwendet, um eine Platine vom Blechcoil in einer eigenen Platinenschneidanlage zu stanzen.

Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Verwendung einer Standardkassette, mit der Standardplatinen, wie beispielsweise ein Rechteckschnitt, realisiert werden und einem dedizierten Platinenschneidwerkzeug. Während die Standardkassette fahrzeugtyp- und auch bauteilübergreifend Verwendung findet, muss das Platinenschneidwerkzeug für jedes Bauteil neu beschafft werden.

Neben den Schneidwerkzeugen existieren dedizierte Lochwerkzeuge, die über Funktionen der Fertigungsart Lochen verfügen. In Gesamtschneidwerkzeugen werden ausschließlich Beschnitte am Bauteil realisiert.

Eine weitere Fertigungsart, die in den Werkzeugen verwendet wird, ist die des Fügens. In der Praxis wird dies insbesondere für das Einpressen von Muttern oder Schrauben verwendet. Werkzeuge zum Fügen unterteilen sich in Fügegesamtverbund- und Fügefolgeverbundwerkzeuge.

Zuletzt existiert die Möglichkeit zur Kombination mehrerer Fertigungsverfahren in einem Werkzeug. Dies ist beim Abpressen von komplexen Bauteilgeometrien in der Automobilindustrie der häufigste Fall, da einerseits die methodischen Inhalte

zunehmen, die in den Werkzeugen untergebracht werden müssen, andererseits jedoch die Gesamtzahl an Werkzeugen reduziert werden soll.

2.3 Die Planungsprozesskette Pressbauteile

Nachdem in den beiden vorhergehenden Unterabschnitten zunächst der Herstellungsprozess für Blechteile in der Automobilindustrie sowie anschließend die eingesetzten Pressen- und Werkzeugtechnologien vorgestellt wurden, soll in diesem Kapitel auf die Planungsprozesskette für Karosseriebauteile eingegangen werden.

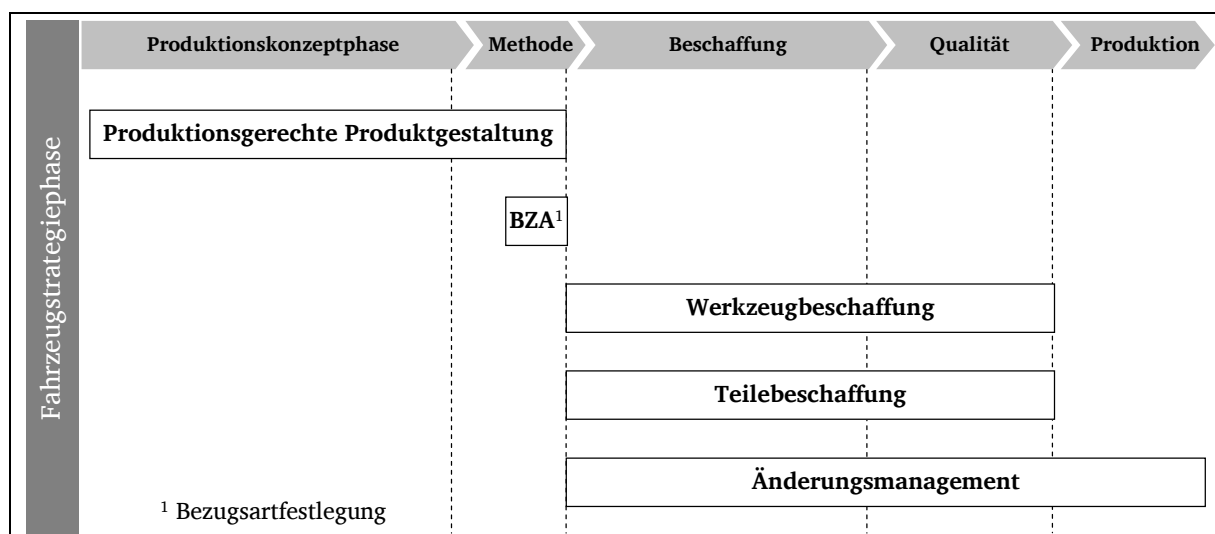


Abbildung 2.3.1: Planungsprozesskette Pressbauteile

Ausgangspunkt für die Prozesskette ist die in der **Abbildung 2.3.1** dargestellte Fahrzeugstrategiephase. Innerhalb der Strategiefindungsphase entstehen in so genannten Projekthäusern funktions- und hierarchieübergreifend neue Fahrzeugmodelle und Derivate. Basis für die Fahrzeugstrategiephase sind insbesondere detaillierte Marktanalysen [Mba05]. Im Folgenden soll auf die einzelnen Phasen der Planungsprozesskette Karosserieaufbauteile eingegangen und insbesondere der Einsatz sowie die Vernetzung von Informationstechnologie-Systemen diskutiert werden.

2.3.1 Produktionskonzeptphase

Der erste Prozessschritt in der Planungsprozesskette für Blechbauteile ist die produktionsgerechte Produktgestaltung, die nach Abschluss der Fahrzeugstrategiephase, also etwa fünf Jahre vor Produktionsstart, beginnt. Während der Konzeptionsphase wird die Bauteilkonstruktion hinsichtlich der produktionsgerechten

Produktgestaltung (PPG) beraten. Unter Berücksichtigung der Kostenzielerreichung und Steigerung des Materialausnutzungsgrads wird eine optimale Produktgestalt sichergestellt.

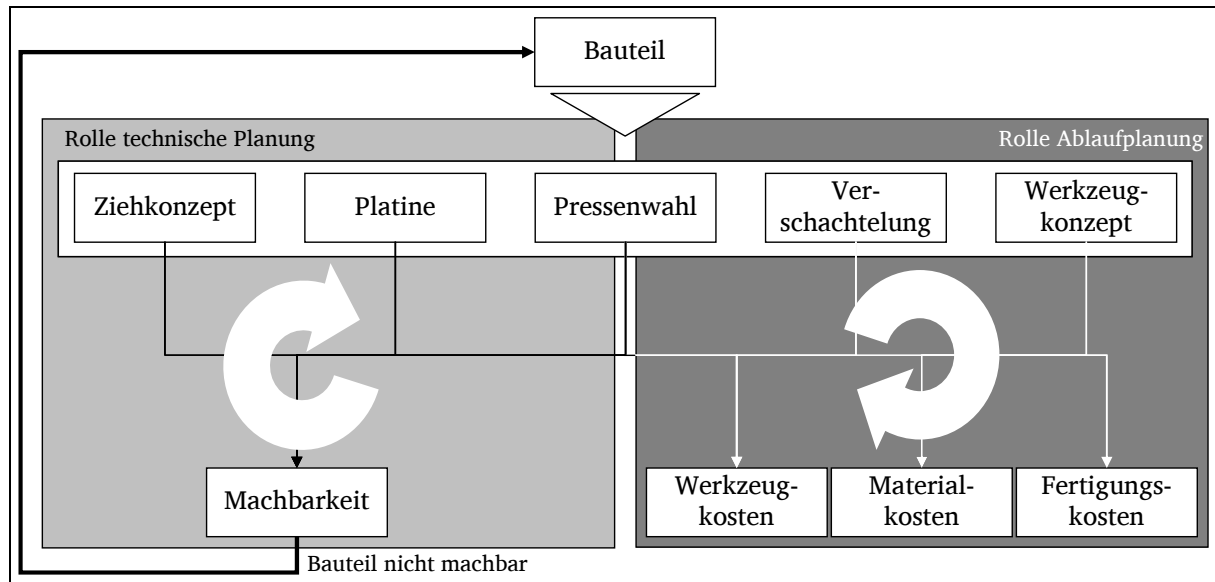


Abbildung 2.3.2: Produktionsgerechte Produktgestaltung (PPG)

Abbildung 2.3.2 zeigt die Teilprozesskette der produktionsgerechten Produktgestaltung, deren Aufgaben auf zwei unterschiedliche Rollen verteilt sind. Einerseits ist dies die Rolle der technischen Planung, die idealer Weise sowohl über einen breiten Erfahrungsschatz bei der Anfertigung von Großwerkzeugen als auch im Umgang mit FEM-Simulationssystemen verfügt. Andererseits hat die Ablaufplanerrolle einen stärkeren Fokus auf der Ableitung von Kosten.

Technische Planung

Die Aufgabenbereiche der technischen Planung erstrecken sich vor allem auf die Analyse der prinzipiellen Machbarkeit, wobei in der frühen Phase der Produktionskonzeptphase zumeist noch kein im CAD-System auskonstruiertes Bauteil existiert. Dennoch greift der technische Planer auf seinen Erfahrungsschatz zurück und berät den Bauteilkonstrukteur, um die fertigungsgerechte Ausführung und Segmentierung der Bauteile sicher zu stellen. Existiert eine erste Datensatzversion, kommen auch klassische FEM-Simulationstools zur Umformsimulation von Blechbauteilen, wie beispielsweise AutoForm oder LS Dyna, zum Einsatz. Der Hauptfokus der Simulation liegt auf der Ziehstufe, da sie maßgeblich die Bauteilform, insbesondere die Toleranzen, beeinflusst. Der technische Planer modelliert deshalb den Stempel, die

Matrize und den Blechhalter des Ziehwerkzeuges. Insbesondere bei der Gestaltung von Sicken und ähnlichen Hilfsgeometrien, wie Ankonstruktion und Füllflächen, sind die Anforderungen an die modellierten Wirkflächen nicht so hoch wie beispielsweise im Werkzeuganfertigungsprozess. Anschließend erfolgt die inkrementelle Simulation, auf deren Basis schließlich eine abgesicherte Aussage über die prinzipielle Machbarkeit und die hierfür notwendigen Prozessparameter getroffen werden kann. Ergibt sich eine negative Aussage zur Bauteilmachbarkeit, so erfolgt ein Informationsrückfluss an die Bauteilentwicklung.

Ergebnis der technischen Planung ist letztendlich ein erstes, technisch abgesichertes Ziehkonzent inklusive Platine sowie einer Aussage zur prinzipiellen Machbarkeit.

Ablaufplanung

Aufgabe der Ablaufplanung ist es vor allem, die Teilekosten abzuleiten. Teilweise sind zur Kostenermittlung IT-Systeme im Einsatz. In der frühen Fahrzeugentwicklungsphase, in der noch kein Bauteildatensatz im CAD-System existiert, werden die Kosten jedoch auf der Basis von Erfahrungswerten geschätzt.

Wie in der **Abbildung 2.3.3** zu sehen, teilen sich die Kosten grundsätzlich in die Hauptblöcke Herstellkosten und Aufwendungen für Verwaltung sowie Forschung & Entwicklung, die als prozentualer Aufschlag auf die Herstellkosten verrechnet werden. Die Kosten, die durch die Bauteilgeometrie und die planerischen Annahmen direkt verursacht werden, also auch geplant werden müssen, bestehen aus den Herstellkosten. Diese Kosten gliedern sich in drei Kostenblöcke. Bei den Material- und den Fertigungskosten handelt es sich dabei um Kosten, die erst während der Fertigung entstehen.

Unter Materialkosten fallen vor allem die Kosten für das verwendete Blechmaterial, das typischerweise von den Stahllieferanten in aufgewickelten Blechrollen, so genannten Blehcoils, geliefert wird.

Zur Ermittlung der Materialkosten wird in der Automobilindustrie Software, wie beispielsweise das Tool Forming Suite der kanadischen Firma FTI Incorporated, eingesetzt. Hier wird über ein One-Step-Verfahren eine minimale Platine berechnet. Nach einer Zugabe für die Ankonstruktion wird im Anschluss die Platine verschachtelt beziehungsweise ein Standardzuschnitt gewählt. Die Verschachtelung erfolgt dabei automatisch durch die Software so, dass sich daraus ein maximaler Material-

ausnutzungsgrad respektive ein minimaler Verschnitt ergeben. Die Kosten für das Material pro Teil berechnen sich aus dem gewählten Vorschub multipliziert mit Coilbreite, Blechdicke, Materialdichte und Preis pro Kilogramm.

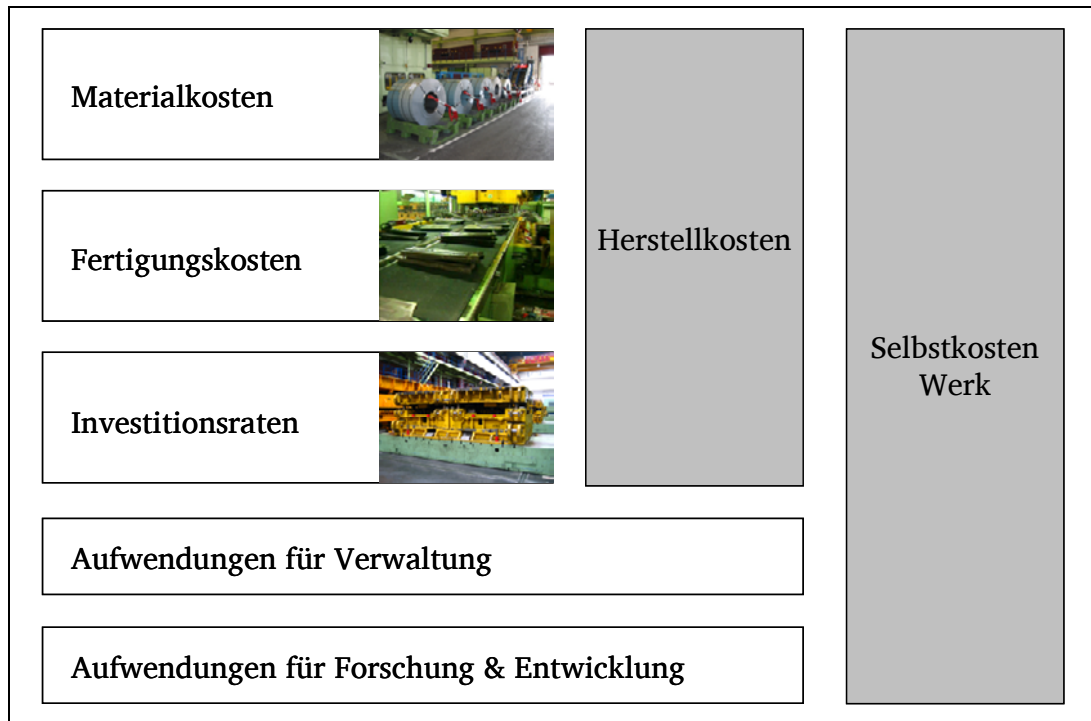


Abbildung 2.3.3: Kostenstruktur Blechteile

Die Fertigungskosten repräsentieren die Kosten für die Produktionsanlagen, beispielsweise die später für die Fertigung eingesetzte Presse. Umlagen, wie die Lohnkosten, die Abschreibung der Presse und Aufwendungen für Instandhaltung, werden zu einem Maschinenstundensatz umgerechnet. Dieser Stundensatz sagt schließlich aus, wie viel eine bestimmte Maschine pro Zeiteinheit Produktion kostet. Die Fertigungskosten ergeben sich aus der Multiplikation des Maschinenstundensatzes mit der reziproken, geschätzten Hubzahl. Die Schätzung der Hubzahl basiert dabei auf dem Hubzahlangebot der Presse.

Entgegen den erst in der Fertigung anfallenden Material- und Fertigungskosten besitzen insbesondere die Werkzeugkosten Investitionscharakter. Über Investitionsraten werden die Kosten für die vor der Fertigungsphase zu beschaffenden Betriebsmittel auf die Herstellkosten der Bauteile umgelegt. Der Prozess der Werkzeugkostenermittlung im Rahmen der produktionsgerechten Produktgestaltung wird nicht durch IT-Systeme unterstützt. Der Ablaufplaner schätzt die Kosten auf Basis von Erfahrungswerten.

Zur Planungsdocumentation und Ermittlung der Teilekosten setzen die Automobilhersteller im Bereich der Prozesskette Pressbauteile überwiegend selbst entwickelte, relationale Datenbanksysteme ein. In diesen Systemen erfolgt nicht nur die korrekte Umrechnung der Kostenbausteine auf Teilekosten. Viel mehr sind hier auch Prämissen, wie beispielsweise die Gültigkeiten von Bauteilen, die geplante Ausbringungsmenge eines Fahrzeugtyps oder die Maschinenstundensätze, hinterlegt. So wird sichergestellt, dass die Kosten eines Bauteils auf den richtigen Fahrzeugtyp und die richtige Positionsvariante, beispielsweise ein Rechtslenker-Fahrzeug, umgelegt werden.

Der gesamte Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung wird jedes Mal gestartet, wenn eine Bauteiländerung erfolgt. Bei Betrachtung des Gesamtprozesses wird deutlich, dass dabei eine Vielzahl von Softwareinseln im Einsatz ist. Es existiert keine digitale Durchgängigkeit zwischen der technischen Planung und der Ablaufplanung. Da deshalb auch die Kosten nicht durchgängig an der Bauteilgestalt fest zu machen sind, kann es keinen digitalen Informationsrückfluss bezüglich der Kosten – im Sinne konstruktiver Vorschläge an die Bauteilentwicklung – geben. Zudem sind viele Teilschritte, insbesondere innerhalb der Kostenbausteinermittlung, von der Erfahrung des Planers abhängig.

Ergebnis der Produktionskonzeptphase ist eine reife Bauteilgeometrie, die insbesondere hinsichtlich technischer Machbarkeit optimiert ist.

2.3.2 Methodenphase

Die zweite Phase innerhalb der Planungsprozesskette Pressbauteile ist, wie in **Abbildung 2.3.1** zu sehen, die Methodenphase, die etwa drei Jahre vor Produktionsstart beginnt und circa ein halbes Jahr dauert. Aufgabe dieser Phase ist die Vorbereitung einer Festlegung für die Bezugsart von Bauteilen und Betriebsmitteln, im Sinne der Ableitung einer groben Fertigungsmethode. Die Basis für die Erstellung der Grobmethode stellen dabei die Überlegungen dar, die bereits innerhalb der produktionsgerechten Produktgestaltung angestellt wurden.

Ein wichtiger Prozess innerhalb der Methodenphase ist die Bezugsartfestlegung. Die **Abbildung 2.3.4** zeigt den logischen Zusammenhang zwischen den beiden Bezugsartfestlegungsvorgängen, die für jedes Bauteil eines neuen Fahrzeugtyps erfolgen. Aus presswerkstrategischer Sicht wird zunächst die Bezugsart für das

Bauteil festgelegt. Zu unterscheiden ist die Fertigung im hauseigenen Presswerk von der externen Beschaffung bei Lieferanten.

Anschließend erfolgt die Bezugsartfestlegung für die benötigten Werkzeuge. Für die intern gefertigten Bauteile können die Betriebsmittel entweder im hauseigenen Werkzeugbau oder bei einem Betriebsmittelbaulieferanten bezogen werden. Dabei wird nicht jedes Werkzeug einzeln vergeben, sondern es wird in der Regel ein ganzer Werkzeugsatz von einem Lieferanten angefertigt.

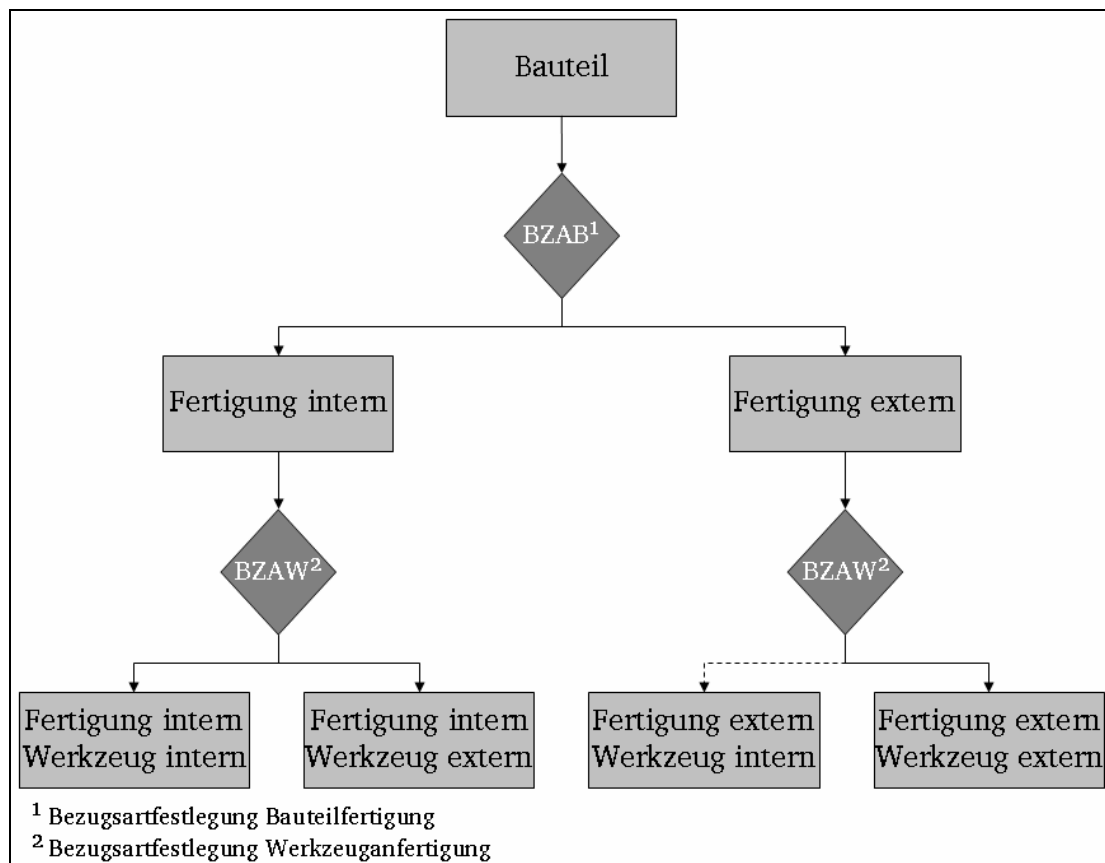


Abbildung 2.3.4: Bezugsartfestlegungen

Bei extern bezogenen Bauteilen gibt es analog dieselben Möglichkeiten zur Beschaffung der Werkzeuge. Da die Verantwortung und Projektierung der Werkzeugbeschaffung in dieser Konstellation beim Bauteillieferanten liegt, werden auch die Werkzeuge nicht im eigenen Betriebsmittelbau gefertigt. Die gestrichelte Linie zum betreffenden Bezugsartfestlegungsergebnis in der Abbildung 2.3.4 deutet an, dass aus bestimmten werkzeuggestrategischen Gründen dieser Fall dennoch eintreten kann. Die Ergebnisse der Bezugsartfestlegung fließen über das relationale Planungsdokumentationssystem ein.

2.3.3 Beschaffungsphase

Die Beschaffungsphase gliedert sich in die Beschaffung von Werkzeugen und Bauteilen. Sie beginnt etwa zweieinhalb Jahre vor dem Start der Produktion. Bis circa ein Jahr vor dem ersten produzierten Fahrzeug müssen die benötigten Betriebsmittel sowie die extern bezogenen Bauteile im jeweils definierten Änderungsstand vorliegen.

Beschaffung von Bauteilen

Aufgaben im Rahmen der Beschaffung von Bauteile sind die Spezifizierung von Grobmethoden sowie das Einholen und Prüfen von Angeboten. Nach einem Vergleich der eingegangenen Angebote wird schließlich der Auftrag über das Abpressen der Bauteile an einen Lieferanten vergeben. Zu definierten Zeitpunkten erfolgen entsprechende Abnahmen.

Beschaffung von Werkzeugen

Nach der festgelegten Bezugsartfestlegung werden auch die Anfragemethoden für die externe Beschaffung der Werkzeuge spezifiziert, Angebote eingeholt und geprüft. Schließlich wird der Auftrag an einen Werkzeugbau vergeben, der anschließend die Werkzeuge anfertigt. Der Werkzeugherstellungsprozess soll im Folgenden kurz umrissen werden.

Der Prozess der Werkzeugherstellung ist von sehr komplexer Natur, bei dem Planung, Konstruktion und Fertigung teilweise parallel nebeneinander verlaufen. Wie die **Abbildung 2.2.11** zeigt, lässt sich der Werkzeugherstellungsprozess schematisch in eine Planungs-, Engineering- und eine Fertigungsphase gliedern. Dabei entfallen etwa zwei Drittel der Kosten für die Herstellung eines Werkzeuges auf den Teilprozess der Fertigung.

Als erster Prozess der Werkzeugherstellung steht die Kalkulations- und Planungsphase. Hier werden die Zeiten, die für das Engineering und die Fertigung benötigt werden, geschätzt sowie eine erste Belegung der jeweiligen Ressourcen vorgenommen.

Anschließend beginnen die Engineeringtätigkeiten an deren Anfang der Entwurf der Methode steht. Als Methode wird ein detailliertes Werkzeugkonzept im Sinne eines

„Fahrplans“ für die Fertigung eines Bauteils bezeichnet [Kla05]. Das Ergebnis der Teilphase ist ein Feinmethodenplan zur Erstellung des Werkzeuges. Auf diesem sind sämtliche methodischen Inhalte für jede Operationsstufe zur Erstellung der Werkzeuge dargestellt. Als nächster Schritt folgt die Erstellung der Umformflächen, die mit Hilfe von FEM-Simulationssoftware abgesichert werden. Ziel der FEM-Simulation ist es dabei, die Gestalt der Wirkflächen inklusive aller Sickengeometrien so zu gestalten, die Anpassungsschleifen in der späteren Try-Out-Phase der Werkzeuganfertigung reduziert werden. Zeitgleich mit der Erstellung der Umformflächen beginnt die Werkzeugkonstruktion, die überwiegend mit der Software Catia V5 von Dassault Systemes erfolgt.

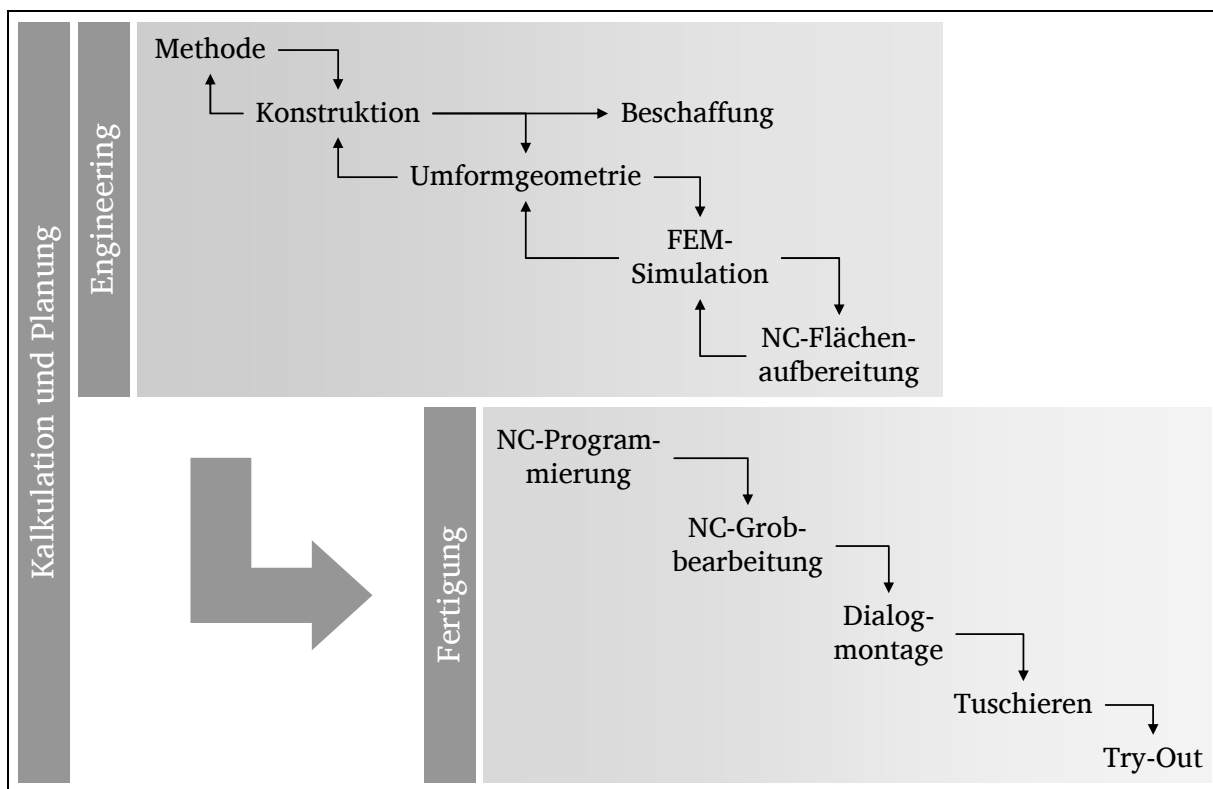


Abbildung 2.3.5: Der generische Werkzeugherstellungsprozess

Im Zuge dieses Vorgangs beginnt auch die Beschaffung der benötigten Materialien und Rohteile, insbesondere der Gussteile. Für Großgussteile wird anschließend ein Export- oder Polystyrolmodell erstellt, welches zur Herstellung des Gusses durch das Fertigungsverfahren des Gießens mit verlorenen Formen benötigt wird. Als letzter Schritt der Engineeringprozesskette steht das Aufbereiten der Umformflächen für die NC-Programmierung.

Nachdem die Tätigkeiten des Engineerings abgeschlossen sind, beginnt der eigentliche Fertigungsprozess. Die NC-Programmierung entwirft auf Basis der Werkzeugkonstruktion und der Umformflächen die Programme für die NC-Bearbeitung. Sie stellt die letzte Phase in der Wertschöpfungskette vor der eigentlichen Fertigung dar.

Die Fertigungsphase selbst kann prinzipiell in fünf serielle Einzelschritte unterteilt werden:

- **NC-Grobbearbeitung:** Das Groß-Gussteil wird durch Fräsen und Bohren bearbeitet. Die Form und die Umrisse werden gefräst sowie die Backen und Messer parallel bearbeitet.
- **Dialogmontage:** Die gefrästen Messer und Backen werden montiert. Sie werden im Zusammenbau auf die darzustellende Form gefräst und zum Härten wieder entfernt.
- **Härten:** Für eine längere Haltbarkeit im Presswerk werden die Messer und Backen gehärtet, beispielsweise durch Einsatz eines Lasers oder eines Härteofens.
- **Tuschieren:** Das Werkzeugober- und das Werkzeugunterteil werden auf einer Tuschierpresse montiert und geschlossen. Das Tuschieren der Werkzeuge dient der Überprüfung des Zusammenspiels der Werkzeugkomponenten.
- **Try-Out:** Mit auf dedizierten Pressen montierten Werkzeugen sollen erste Teile gefertigt werden. Die abgepressten Teile werden taktil oder unter Einsatz der Photogrammetrie vermessen, um bei Toleranzabweichungen entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Bei der vorgestellten Wertschöpfungskette handelt es sich um einen generischen Prozess, wie er grundsätzlich sowohl bei einem automobilherstellerinternen Betriebsmittelbau als auch bei einem externen Werkzeugbau existiert.

Zu fest definierten Zeitpunkten werden bestimmte Endprodukte des Werkzeugherstellungsprozesses, wie beispielsweise die Feinmethode oder das Gussmodell, abgenommen.

Zudem werden Bauteile und Werkzeuge zu bestimmten Versionen der Bauteilgeometrie vergeben. Da die Bauteilgestalt jedoch in den eineinhalb Jahren der Beschaffungsphase weiter optimiert wird, müssen auch die notwendigen Änderungen in den Werkzeugen gesteuert und kontrolliert werden. Diesen Prozess zu treiben, ist Aufgabe des Änderungsmanagements.

2.3.4 Phase Qualität

In der Qualitätsphase, die etwa ein Jahr vor Serienstart beginnt, werden die Werkzeuge und damit auch die Bauteile bezüglich ihrer Qualität optimiert. Die Betreuung der Nullserie und der Produktionstests findet ebenso statt wie die Optimierung des Materialeinsatzes. Zudem erfolgt eine Bemusterung, die in einem mehrstufigen Prozess Bauteilqualität in den Dimensionen Werkstoffqualität, Oberflächenqualität, Maßhaltigkeit und Verbaubarkeit im Rohbau misst und sicherstellt. Dabei werden unter anderem Bauteile taktil vermessen und mit den Soll-Werten verglichen.

Mit Werkzeugen, die für die interne Bauteilfertigung bezogen werden, müssen zudem in einem definierten Zeitraum eine bestimmte Menge an Bauteilen entsprechend den Prüfkriterien gefertigt werden. Erst wenn dieser so genannte Leistungstest bestanden ist, gilt das Werkzeug als abgenommen.

2.3.5 Produktionsphase

Mit dem Start der Produktionsphase ist der Fahrzeugentwicklungsprozess abgeschlossen. Alle Bauteile und Werkzeuge sind abgenommen, die Bauteilqualität ist für den Serienprozess gegeben. Die Produktionsphase eines Fahrzeugtyps dauert in etwa sieben Jahre. Die singuläre Planungsaufgabe im Rahmen der Serie stellt das weitergeführte Änderungsmanagement dar. So werden sowohl nachträgliche Bauteiloptimierungen, die über einen Business Case abgesichert sind, als auch designrelevante Modellpflegen bewertet, koordiniert und umgesetzt.

2.4 Herausforderungen für die Automobilindustrie

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln die Prozesskette Pressbauteile erläutert wurde, soll im Folgenden auf die Herausforderungen eingegangen werden, vor denen die Automobilindustrie in diesem Feld steht. Am Beispiel neuer Modellbaureihen der Mercedes Car Group (MCG) lassen sich einige Tendenzen im Umfeld der

Karosserieaufbauteile ableiten. Ziel und damit Herausforderung jeder Planung ist es, das Dreieck aus Kosten, Qualität und Zeit ganzheitlich zu optimieren.

Die **Abbildung 2.4.1** visualisiert diesen Zusammenhang durch zwei Dreiecke. Das innere Dreieck repräsentiert ein früheres Niveau der drei Zielgrößen Planungszeit, Planungskosten und Planungsergebnisqualität. Wird auf Basis derselben Werkzeuge und Methoden der Presswerkplanung, wie sie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben wurden, weitergearbeitet, so kann das Dreieck zwar zu Gunsten einer Zielgröße verzerrt, nicht aber eine absolute Niveausteigerung erreicht werden.

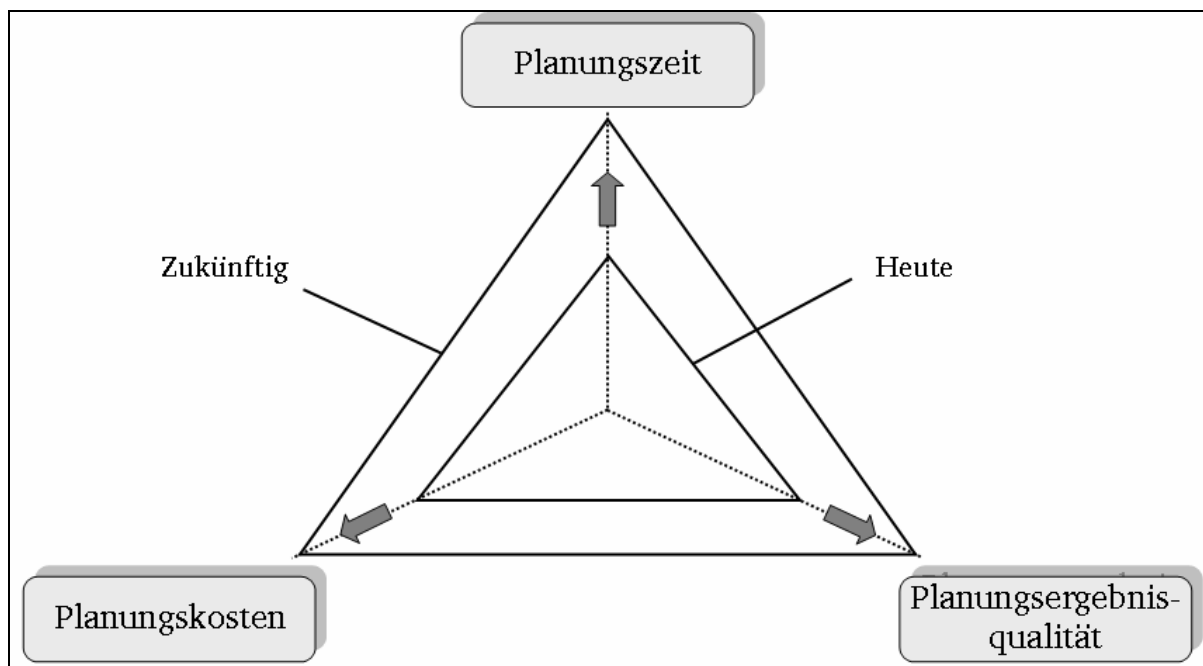


Abbildung 2.4.1: Herausforderungen an die Presswerkplanung

Soll beispielsweise die Planungszeit verkürzt werden, indem Planungsumfänge fremd vergeben werden, so resultiert daraus gleichzeitig eine Planungskostenerhöhung. Ziel einer innovativen Planung ist eine integrierte Verbesserung in allen drei Zielgrößen. Das äußere Dreieck in der Abbildung 2.4.1 stellt dieses neue Niveau dar, bei dem eine höhere Planungsergebnisqualität bei gleichzeitiger Senkung der Planungskosten und der Planungszeit erreicht wird.

2.4.1 Reduzierung der Planungskosten und der Planungszeit

Am Beispiel neuerer Baureihen lässt sich feststellen, dass die Gesamtzahl der Karosserieaufbauteile um fast zehn Prozent zugenommen hat. Es sind also deutlich mehr Bauteile zu beplanen als bei den jeweiligen Vorgängerbaureihen. Hinzu

kommt, dass seit einigen Jahren eine Vielzahl an neuen Fahrzeugvarianten in die Portfolios der Automobilproduzenten aufgenommen wurde. Diese Derivate zeichnen sich zwar häufig durch eine hohe Gleichteilquote mit den Ecktypen aus, dennoch müssen die variantenspezifischen Bauteile ebenfalls beplant werden.

Für diese gestiegene Anzahl an zu beplanenden Bauteilen dürfen nach dem in **Abbildung 2.4.1** visualisierten Ziel keine Mehrkosten entstehen. Diese Tatsache zeichnet sich bei den deutschen Automobilproduzenten insbesondere durch Kostensenkungsprogramme, wie beispielsweise CORE bei der Mercedes Car Group oder ForMotion bei der Volkswagen AG, ab. Demzufolge werden keine weiteren Planungsingenieure eingestellt oder zusätzliche Gelder für Vergabe von Planungsleistungen bereitgestellt. Vielmehr müssen die Kosten in den Bereichen der Planung sogar reduziert werden. Soll die gestiegene Anzahl an Bauteilen mit derselben Mitarbeiterzahl und ohne zusätzliche Fremdvergabe bearbeitet werden, so bedeutet dies eine Verminderung der Planungszeiten. Die durchschnittliche Zeit, die zur Planung eines Bauteils verwendet werden darf, muss also reduziert werden.

2.4.2 Erhöhung der Planungsergebnisqualität

Gleichzeitig besteht die Forderung nach einer Steigerung der Planungsergebnisqualität, wohlgermerkt bei einer gleichzeitigen Senkung der Planungskosten und Reduzierung der Planungszeit.

Planungsergebnisqualität bedeutet dabei die Qualität des gewählten Fertigungskonzeptes für jedes Bauteil. Da das geplante Fertigungskonzept beim späteren Abpressen der Bauteile zu entsprechenden Teilekosten im Presswerk führt, ist es imminent wichtig, diese Planungsergebnisqualität zu steigern. Erste Anzeichen einer gesteigerten Qualität der Planungsergebnisse zeichnen sich bei einem Vergleich verschiedener Modellgenerationen ab.

Betrachtet man beispielsweise die verschiedenen Fertigungsarten, so lässt sich feststellen, dass insbesondere die Mehrfachteilfertigung um 22 Prozent angestiegen ist. Vor allem die Zusammenlegung von Bauteilen als Vierfachteil hat dabei um fast das Sechsfache zugenommen. Daraus leitet sich die Erkenntnis her, dass heute auch Pressbauteile in den Großpresswerken der Automobilhersteller gefertigt werden, die nicht die erforderliche Bauteilgröße haben, um als Einzelteil wirtschaftlich abgepresst zu werden. Diese Bauteile werden als Doppel- oder Vierfachteil entweder

symmetrisch oder mit einem zweiten Bauteil zusammen aus einer Platine – wirtschaftlich – gefertigt.

Insbesondere die Folgewerkzeuge werden durch die Mehrfachteilfertigung sehr viel komplexer, da immer mehr methodische Inhalte ihren Platz finden müssen. Waren beispielsweise bei einer Einfachteilfertigung nur die Werkzeugkomponenten für die Herstellung eines Bauteiles zu integrieren, so müssen bei einer Mehrfachteilfertigung auch für die Komponenten für ein zweites, drittes oder viertes weiteres – oftmals nicht symmetrisches – Bauteil Platz gefunden werden. Zudem gestalten sich die Machbarkeitsanalyse und die Ermittlung des Materialbedarfs in der Planungsphase komplizierter.

Hinzu kommt, dass die durchschnittliche Anzahl an benötigten Werkzeugstufen, bereinigt um die Folgeverbundfertigung, um zehn Prozent verringert wurde. Die erhöhte Anzahl an methodischen Inhalten muss also in weniger Werkzeugen Platz finden, was zu immer komplexeren Werkzeugen führt. Hinzu kommt, dass mit dem Einsatz von Benchmarkanalysen im Presswerkumfeld, wie beispielsweise dem Harbour Report, die Anzahl der Hübe pro Stunde („Hits per hour“), also die Anforderungen der Presswerke an Werkzeuge und Fertigungskonzept eine immer größer werdende Rolle bekommen. Die Werkzeuge werden also nicht nur komplizierter, auch die Anforderungen an die Prozessstabilität im Sinne einer möglichst störungsfreien Produktion erhöhen sich.

Zudem konnte beispielsweise bei der neuen Mercedes-Benz E-Klasse die durchschnittliche Materialausnutzung um etwa vier Prozent gesteigert werden. Insbesondere der Ziehprozess, klassischerweise die erste Operation bei der Fertigung von Pressbauteilen, wird immer stärker ausgereizt, um Materialkosten zu sparen. Diese Entwicklung hin zu mehr Werkzeuginhalten, weniger Werkzeugen, kleineren Platinen und damit komplexeren Fertigungskonzepten wird sich in Zukunft keinesfalls abschwächen, sondern eher noch verstärken.

2.4.3 Schlussfolgerung

Mit dem in Kapitel 2 vorgestellten Vorgehen der Presswerkplanung kann die in der Automobilindustrie geforderte Erhöhung der Planungsergebnisqualität bei gleichzeitig sinkenden Kosten und geringeren Planungszeiten nicht erreicht werden. Vielmehr muss eine neue innovative Methodik für die Presswerkplanung gefunden

werden. Eine wichtige Rolle kann hierbei die Informationstechnologie im Sinne einer digital durchgängigen Presswerkplanung spielen.

2.5 Zusammenfassung

Das Kapitel 2 gab eine Übersicht über die Anforderungen aus der Planungspraxis. Nachdem zunächst die Begriffe Produktionsplanung sowie Presswerkplanung definiert wurden, konnte die Ausgangssituation für die Planung von Pressbauteilen dargestellt werden.

Anschließend wurden die umformtechnischen Grundlagen für den Planungsprozess umrissen. Dabei lag der Fokus insbesondere auf den in der Automobilindustrie eingesetzten Pressen- und Werkzeugtechnologien. In einem nächsten Schritt wurde schließlich die Planungsprozesskette Pressbauteile, hier insbesondere der Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung diskutiert. Abschließend wurde auf die Herausforderungen eingegangen, vor denen die Automobilindustrie hinsichtlich der Planung von Pressbauteilen steht und zukünftig stehen wird.

3 Stand in Technologie und Wissenschaft

Um der in Kapitel 2.4 dargelegten Komplexität Herr zu werden, existieren verschiedene Methoden aus Wissenschaft und Technik, die in der Produktionsplanung eingesetzt werden können. Im Folgenden soll ein Überblick über diese Planungsmethoden gegeben werden können. Hierzu wird zunächst

- in Abschnitt 3.1 das methodische Vorgehen definiert,
- in Abschnitt 3.2 auf die allgemeinen Methoden der Planung eingegangen,
- in Abschnitt 3.3 ein Überblick über spezielle Produktionsplanungsmethoden gegeben und schließlich
- in Abschnitt 3.4 das Kapitel zusammengefasst.

3.1 Methodisches Vorgehen

Der Begriff Methode lässt sich auf das griechische Wort „méthodos“ zurückführen, was das Nachgehen, das Verfolgen oder die Wegebahn bedeuten kann. Unter der heute geläufigen Bedeutung des Wortes wird ein „planmäßiges und folgerichtiges Verfahren“ verstanden [Dud01].

Kapitel 3.2: Allgemeine Methoden <ul style="list-style-type: none">• Business Process Reengineering• Wissensmanagement• Qualitätsmanagement• Change Management	Kapitel 3.3: Spezielle Methoden <ul style="list-style-type: none">• Computer Integrated Manufacturing• Featurebasierte Prozessketten• Product Lifecycle Management• Digitale Fabrik
--	---

Abbildung 3.1.1: Methoden der Produktionsplanung

Nach *Eversheim* und *Schuh* dient eine Methode dazu, ein gutes Verhältnis von Ergebnisqualität und Projektaufwand zu gewährleisten. Ziel ist vor allem das Beherrschen komplexer Probleme, das Bereitstellen eines standardisierten Vorgehens und damit das Nutzen von Rationalisierungspotenzialen [Eve96].

Für die Produktionsplanung gibt es eine Vielzahl von Methoden, die prinzipiell, wie die **Abbildung 3.1.1** zeigt, in zwei Gruppen aufgeteilt werden können. Einerseits sind dies die allgemeinen Methoden, die zumeist auf organisatorischen Konzepten basieren, sowie andererseits die speziellen Methoden, deren Fokus auf der Produktionsplanung liegt. Für die weiteren Betrachtungen im Rahmen der Presswerkplanung sind bei den allgemein eingesetzten Methoden vor allem das Business Process Reengineering, das Wissensmanagement, das Qualitätsmanagement und das Change Management von Bedeutung. Die allgemeinen Methoden werden in Abschnitt 3.2 thematisiert.

Unter den speziellen Methoden der Produktionsplanung, die in Kapitel 3.3 vorgestellt werden, verdienen vor allem das Konzept des Computer Integrated Manufacturing, die Digitale Fabrik, das Product Lifecycle Management und die featurebasierten Prozessketten nähere Betrachtung.

3.2 Allgemeine Methoden der Produktionsplanung

3.2.1 Business Process Reengineering

Eine allgemeine Methode, die im Rahmen der Produktionsplanung eingesetzt wird, ist die des Business Process Reengineering. Im Rahmen dieses Ansatzes sollte die Unternehmensorganisation restrukturiert und die funktionale Arbeitsteilung durch abteilungsübergreifende Geschäftsprozesse ersetzt werden [Gai94]. Grund dieser Entwicklung hin zum Management von Geschäftsprozessen ist vor allem die Umorientierung der Produktion weg vom Unternehmen und hin zu den Anforderungen, Bedürfnissen und Wünschen der Kunden [Nüt98].

Begriffsdefinition Geschäftsprozess

Hansen und *Neumann* definieren einen Geschäftsprozess als eine Menge miteinander verknüpfter Aktivitäten. Diese werden in einer bestimmten Reihenfolge ausgeführt und es soll dabei ein festgelegtes Ziel erreicht werden [Han01]. *Stahlknecht* und

Hasenkamp erweitern den Begriff, indem sie feststellen, dass ein Geschäftsprozess einen Beitrag zur Wertschöpfung des Unternehmens zu leisten hat.

Zudem orientiert sich der Prozess am Kunden, der auch als unternehmensinterner Auftraggeber auftreten kann [Sta02]. Insbesondere die Fabriken verstehen sich heute als autonome Einheiten, die einen Teilabschnitt der gesamten Wertschöpfungskette abdecken. Die Wertschöpfungskette umfasst dabei die Gesamtheit aller Aktivitäten, die das Unternehmen leisten muss, um eine Marktleistung zu erstellen [Por99].

Business Process Reengineering (BPR)

Ausgangspunkt für die Anfang der 90er Jahre von *Hammer* und *Champy* als Business Process Reengineering proklamierte Revolution der Unternehmensstrukturen von der tayloristischen Funktionsaufteilung hin zu kundenorientierten Geschäftsprozessen waren vor allem die drei folgenden Kräfte:

- Die Kunden übernehmen das Kommando: Bereits in den 80er Jahren zeichnete sich ein Wandel der Kunden-/ Lieferantenbeziehung ab. Die Abnehmer sagen dem Lieferanten „was sie wollen, wann sie es wollen und was sie zu zahlen bereit sind“ [Ham94].
- Der Wettbewerb wird intensiver: Während einerseits immer mehr Nischenanbieter in den Märkten auftraten, verstärkten sich die Wettbewerbskräfte andererseits durch die beginnende Globalisierung.
- Der permanente Wandel wird zur Konstante: Nicht zuletzt die zunehmende wirtschaftliche Internationalisierung führte zu dem Zustand, dass mittlerweile der stete Wandel nicht mehr als Ausnahme, sondern als Norm betrachtet wird [Ham94].

Die Methode des BPR propagiert zur Begegnung der drei genannten Kräfte die Umgestaltung der Unternehmen. Dabei liegt der Fokus nicht nur – wie der Ausdruck Business Process Reengineering vermuten lässt – auf den Unternehmensprozessen. Der von Hammer entwickelte Geschäftssystemdiamant, der in **Abbildung 3.2.1** dargestellt ist, zählt zusätzlich vor allem die Unternehmensstrukturen, die Management- und Bewertungssysteme sowie Wertvorstellungen und Überzeugungen auf, die ganzheitlich verändert werden müssen. Wird diese ganzheitliche Verände-

rung weg von funktionalen und hin zu prozessorientierten Strukturen vollzogen, so kann ein Zeitgewinn von bis zu 50 Prozent möglich sein [Hel02].

Bei einem Reengineering wird grundsätzlich in vier Phasen vorgegangen. Zunächst wird ein grundlegender Geschäftsprozess im Sinne der Kernkompetenzen des Unternehmens ausgewählt. Auswahlkriterien sind neben der Bedeutung für das Unternehmen insbesondere Machbarkeit und Erfolgchancen einer Verbesserung [Kam06].

Anschließend beginnt die Einarbeitung zum Verständnis der Prozesse. Da im Rahmen des Reengineering nicht der bestehende Prozess verbessert, sondern etwas Neuartiges, Überlegenes geschaffen werden soll, muss der Vorgang nicht im Detail analysiert werden. Wichtiger ist es vielmehr, den gesamten Prozess, inklusive der Inputs und der Outputs permanent zu hinterfragen [Ham94].

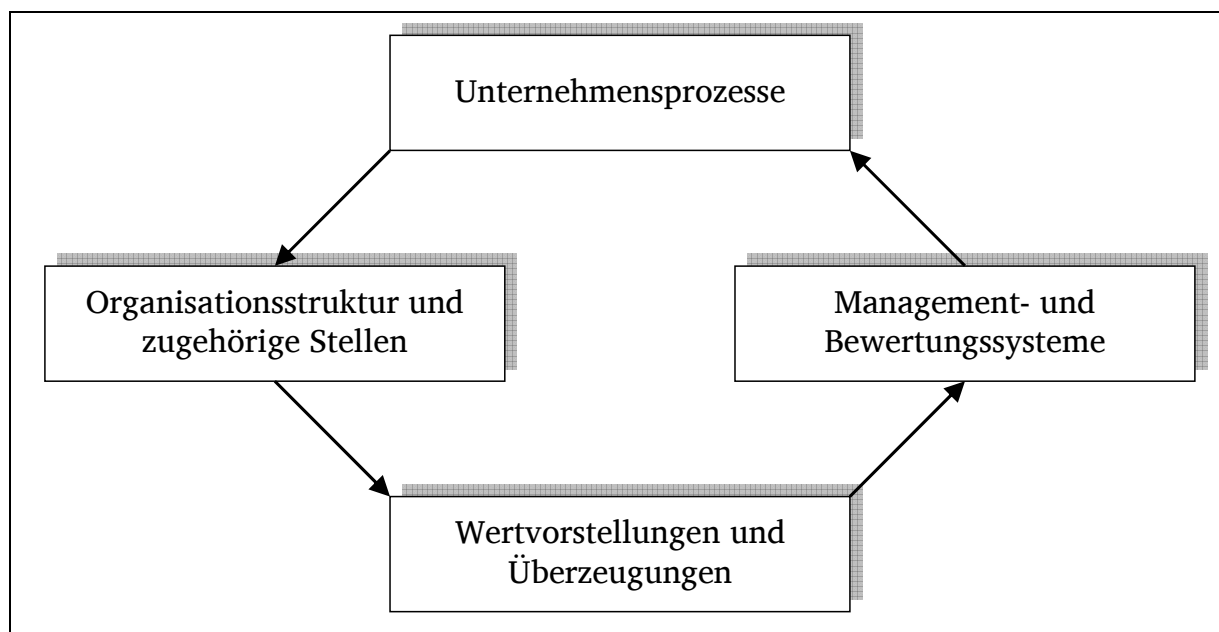


Abbildung 3.2.1: Der Geschäftssystemdiamant [Ham94]

In einer dritten Phase folgt schließlich das eigentliche Redesign der Prozesse. Der Neuentwurf der Prozesse erfolgt nach den Prinzipien des Reengineerings: Ziel ist eine radikale Umgestaltung mit Hilfe des Einsatzes innovativer Technologien und induktiven Denkens. Die Bearbeitung des neuen Prozesses sollte möglichst nur von einer Person erfolgen. Für komplexere Fälle werden mehrere Prozessvarianten angestrebt, während die normale Abarbeitung durch einen Generalisten erfolgen kann und bei Sonderfällen ein Spezialist hinzu gezogen wird. Ein Schwerpunkt liegt auf der Verlagerung der Entscheidungsbefugnisse auf die Mitarbeiter [Kam06].

Schließlich erfolgt im letzten Schritt die Implementierung des neuen, radikal umgestalteten Prozesses. Die fundamentale Veränderung, die mit der Einführung einhergeht, betrifft typischerweise alle Bereiche des Unternehmens. So müssen Strukturen ebenso angepasst werden, wie Vergütungssysteme und Wertvorstellungen [Kam06]. Unter Implementierungsaspekten stellt sich daher die Frage nach dem Leitbild des Wandels. Das Management muss sich im Rahmen eines Reengineeringvorhabens entscheiden, ob eine „radikale Revolution“ oder eine „realistische Reform“ angestrebt werden soll [Rei94]. Zudem sollte mit einem Widerstand der Belegschaft gegen die tief greifenden Veränderungen gerechnet werden. Die eigentliche Ursache, weswegen Reengineering-Projekte scheitern besteht jedoch nicht im Widerstand der Mitarbeiter an sich, sondern in der Unfähigkeit des Managements, sich darauf einzustellen [Ham94].

In Kapitel 3.2.4 wird deshalb auf Methoden und Werkzeuge des Change Managements eingegangen, das sich neben der Umsetzung von Veränderungen vor allem mit der Sicherstellung der Nachhaltigkeit im Einsatz von neuen Vorgehensweisen auseinandersetzt. Eine wichtige Rolle bei einem Reengineering von Prozessen kommt der Informationstechnologie im Sinne eines destabilisierenden Faktors zu.

3.2.2 Wissensmanagement

Eine weitere Methode, die im Rahmen der Produktionsplanung eingesetzt wird, ist das Wissensmanagement.

Der Wissensbegriff

Die Bestandteile des Wissensmanagement sind in der **Abbildung 3.2.2** dargestellt und bestehen aus Wissen, Informationen, Daten und Zeichen. Daten bilden die Ausgangsbasis für Wissen. Sie stehen in einem zusammenhanglosen Kontext zur Verfügung. Informationen sind Nachrichten. Sie haben Sender und Empfänger. Sie sollen die Wahrnehmung des Empfängers in Bezug auf einen Sachverhalt verändern. Informationen sind also Daten, die etwas bewirken [Dav98]. Der Grad des Informationsgehalts wird immer durch den Empfänger bestimmt. Auf Basis von Daten werden Informationen erstellt. Der Sender legt der Datei einen Bedeutungsinhalt bei, das bedeutet, dass Informationen eine Bedeutung und einen Zweck besitzen.

Daten und Informationen sind Bestandteile von Wissen. Allerdings wird Wissen nicht nur durch Daten und Informationen definiert, da Wissen wesentlich umfangreicher

ist. Wissen ist vielmehr eine fließende Mischung aus Wertvorstellungen, Kontextinformationen und Fachkenntnissen, die in ihrer Gesamtheit einen Strukturrahmen zur Beurteilung und Eingliederung neuer Erfahrungen und Informationen bietet [Dav98, DIN-44330].

Allerdings erfolgen die Entwicklung und der Gebrauch von Wissen in den Köpfen der Menschen. Wissen ist daher nicht nur in Dokumenten und Systemen gespeichert, sondern auch in Routinen, Prozessen, Praktiken und Normen.

Wissensmanagement als Managementfunktion ist verantwortlich für die (richtige) Auswahl, Einführung und Bewertung von Wissensstrategien, die auf den verbesserten organisationsspezifischen Umgang mit (internem und externem) Wissen abzielen. Im Vordergrund steht dabei die Steigerung des organisationsindividuellen Erfolgs. Die Einführung von Wissensstrategien umfasst alle personenorientierten, organisationalen und technologischen Instrumente, die geeignet sind, sowohl organisationsweit Kompetenz, Ausbildung und Fähigkeit der Organisationsmitglieder dynamisch zu verbessern als auch kollektive Intelligenz zu entwickeln.

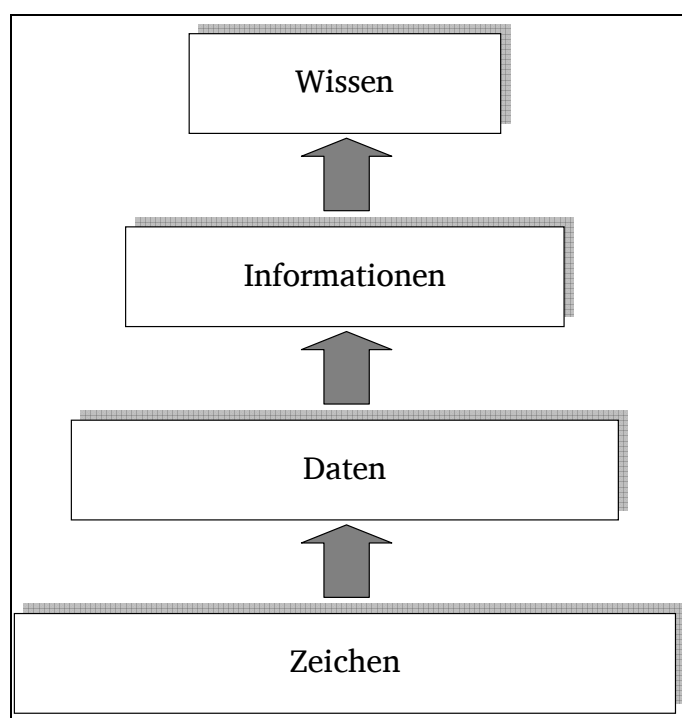


Abbildung 3.2.2: Bausteine des Wissens

Bei der Weitergabe von Wissen ist besonders die Kontextabhängigkeit ein entscheidender Faktor. Wissen ist nur in Verbindung mit seinem beschriebenen Kontext vollständig. **Abbildung 3.2.3** verdeutlicht den automatischen, kreativen Prozess der

subjektiven Interpretation, der durch Weiterleitung von Wissen ohne Verknüpfung zu seinem Kontext entsteht. Das neue Wissen ist somit nicht deckungsgleich mit dem Ausgangswissen.

Wissen lässt sich grundsätzlich in zwei Typen unterscheiden. Implizites Wissen beschreibt das subjektive Erfahrungswissen einer Person, das nicht formalisierbar ist. Persönliche Gefühle und Erfahrungen charakterisieren das implizite Wissen, welches nicht in Form einer Niederschrift oder Dokumentation nachlesbar ist. Dieses Wissen wird nur über kommunikativen Austausch mit dem Wissensträger übertragen. Ein Beispiel wäre die Fähigkeit, Fahrrad zu fahren [Kon98].

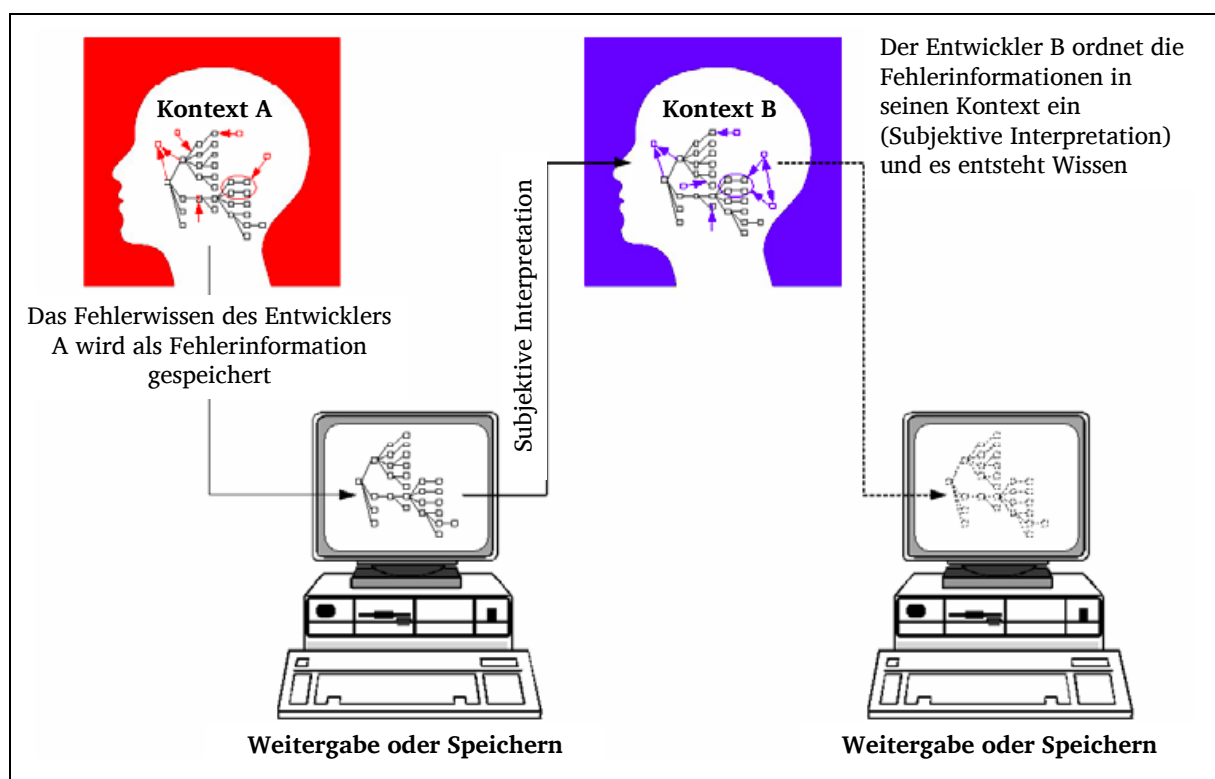


Abbildung 3.2.3: Interpretation von Informationen [Ber99]

Explizites Wissen (Rationalwissen) ist im Gegensatz zu implizitem Wissen formalisierbar. Der Wissensinhalt lässt sich über Worte sowie Zahlen beschreiben und somit in Dokumenten und Datenbanken archivieren. Mitarbeiter bekommen die Möglichkeit, unabhängig von anderen Personen, neues Wissen über Datenbanken zu recherchieren und in neuen Situationen einzusetzen. Ein Beispiel wäre die Kenntnis über Normen und Gesetze, die für jeden nachzulesen sind [Non98].

Abbildung 3.2.4 zeigt weitere Differenzierungsmöglichkeiten neben der Unterscheidung in explizites und implizites Wissen, auf. Wissen wird zusätzlich auf

individueller Personenebene, im gesamten Team, im Unternehmen und auch auf interorganisationaler Ebene betrachtet.

Normen, Prinzipien und Standardmethoden gehören zu der Kategorisierung Allgemeines Wissen, das in expliziter und impliziter Form vorzufinden ist. Mitarbeitern ist dieses Wissen zugänglich, bekannt und steht für deren Anwendung zur Verfügung. Im Gegensatz dazu steht das Individualwissen, welches Mitarbeiter als nicht zugängliches „Privatwissen“ in sich tragen und welches dem Unternehmen somit unbekannt bleibt [Pau89].

	Individuelle Ebene	Teamebene	Organisations-ebene	Inter-organisations-ebene
Explizites Wissen	Schriftwechsel	Kodifiziertes Projektwissen; Dokumentationen	Yellow Pages; Organisationshandbücher	Kunden-/Lieferantenbeziehung
Implizites Wissen	Persönliche Haltungen gegenüber Kollegen	gemeinsame Haltung gegenüber Teammitgliedern	Wahrnehmung des Projektauftritts durch Teamfremde	Umgangsformen bei Projektdurchführung

Abbildung 3.2.4: Ebenenmodell von Wissen mit Beispielen [Seu98]

Spezielles Wissen, wie beispielsweise innerhalb des Gebietes der Umformtechnik, das nur bestimmte Mitarbeiter besitzen, wird als Expertenwissen bezeichnet. Während Individualwissen dem Unternehmen verborgen bleibt, ist die Existenz des Wissensträgers mit seinem speziellen Expertenwissen bekannt und wird auch in Anspruch genommen. Die Vermittlung und Dokumentation von Wissen erfolgt letztendlich über einen Wissensaustausch zwischen den Mitarbeitern [Ber99].

Management von Wissen

Nach *Paulzen* ist Wissensmanagement die „unternehmensweite, mit den Unternehmenszielen und der Unternehmenskultur abgestimmte Planung, Steuerung und Kontrolle der Wissensprozesse unter Einbeziehung von Organisation, Aufgabenträgern und Technologie“ [Pau05]. Die Zusammensetzung des Wissensmanagements nach *Probst et al.* zeigt die **Abbildung 3.2.5**.

Probst unterscheidet dabei zwischen einer Steuerungsebene und den operativen Prozessen des Wissensmanagements. Innerhalb der Steuerungsebene werden normative, strategische und operative Wissensziele gesetzt. Zudem erfolgt eine Wissensbewertung bezüglich der Wichtigkeit und Relevanz, um eine Einschätzung bei späterem Gebrauch möglich zu machen. Aus der Bewertung heraus muss die Zielerreichung im Rahmen eines Feedbacks überprüft und in einen Managementprozess eingebunden werden [Pro97].

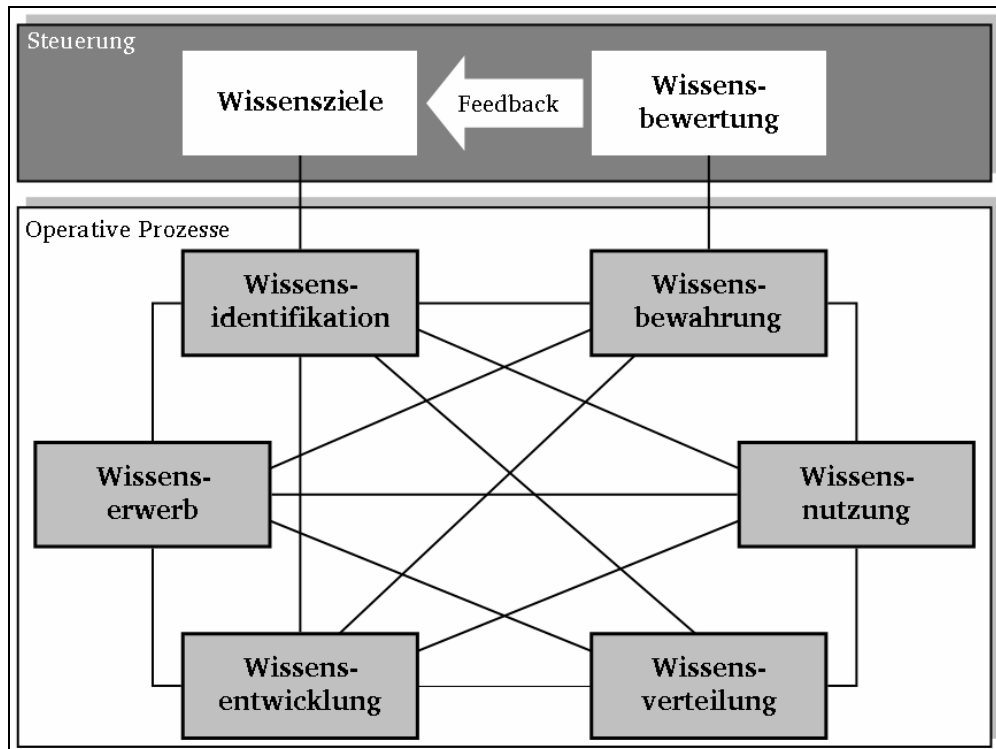


Abbildung 3.2.5: Die Bausteine des Wissensmanagements [Pro97]

Zu den operativen Prozessen zählen folgende Schritte:

- **Wissensidentifikation:** Wissen wird hinsichtlich seiner Verwertbarkeit identifiziert, um relevantes Wissen von nutzlosem zu trennen.
- **Wissenserwerb:** Basierend auf den strategischen Zielen muss entsprechendes Wissen erworben werden, was z. B. durch den Einkauf in Form von Lizenzen erfolgen kann.
- **Wissensentwicklung:** Die Forschung treibt die Entwicklung von Wissen voran.

- **Wissensverteilung:** Die Anwendung von Wissen setzt eine bestimmte Basisform voraus, die mit IT-Werkzeugen wie Datenbanken oder Workflow-Systemen realisiert werden.
- **Wissensanwendung:** Das Wissen wird in die Prozesse eingebunden und effektiv genutzt.
- **Wissensbewahrung:** Die Aufbewahrung von Wissen erfolgt in Form von Dokumenten oder Personen, um eventuell zukünftige, gleich auftretende Fehler zu vermeiden [Pro97].

Das größte Problem der effizienten Wissensaufbereitung und -nutzung innerhalb von Unternehmen ist, dass implizites Individualwissen durch Mitarbeiterfluktuation verloren geht. Das entscheidende Wissen über kritische Sachverhalte bleibt meist nur wenigen, unternehmensweit verteilten, Experten mit langjähriger Erfahrung bekannt [Zen96]. Um der Gefahr des Verlustes von wichtigem Wissen entgegenzuwirken, bedarf es eines Wissensmanagements, das durch Explizierung und Erfassung von Mitarbeiterwissen in einem einheitlichen, dem gesamten Unternehmen zur Verfügung stehendem Wissensmanagementsystem speichert und dadurch in betriebliches, von Einzelmitarbeitern unabhängiges Wissen umwandelt [Gro95].

Wissensmanagementsysteme erweitern für die Produktionsplaner die Auffindung der „Best Practices“ zur Wiederverwendung in weitestgehend analogen Folgeprojekten durch entsprechende Zugriffsmöglichkeit auf das Wissen [Dör02].

3.2.3 Qualitätsmanagement

Weitere allgemeine Methoden, die in der Produktionsplanung eingesetzt werden, sind unter dem Oberbegriff Qualitätsmanagement subsumiert. Im Folgenden soll nach einer Definition der relevanten Begriffe ein kurzer Überblick über ausgewählte Methoden und Werkzeuge für das Management von Qualität gegeben werden.

Der Qualitätsbegriff

Qualität bedeutet „die Gesamtheit von Merkmalen, einer Einheit, bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“ [DIN-8402]. Sowohl explizit ausgedrückte Kundenwünsche, die beispielsweise über ein

Pflichtenheft formuliert wurden, als auch implizite – und damit oftmals unbewusste – Kundenforderungen müssen im Produkt realisiert sein [Ehr03].

Eine Lösung zur Operationalisierung des Begriffes bietet *Garvin*, indem er fünf Blickrichtungen des Qualitätsbegriffs definiert:

- Die transzendente Sichtweise: Die Qualität wird nur durch Erfahrung empfunden und ist nicht präzise definierbar.
- Die produktbezogene Sichtweise: Die Qualität ist präzise und messbar. Qualitätsunterschiede können quantitativ bewertet werden.
- Die anwenderbezogene Sichtweise: Der Anwender ist im Fokus und weniger das Produkt. Diejenigen Güter, die von der Masse der Anwender als qualitativ am besten befriedigt angesehen werden, sind maßgebend.
- Die prozessbezogene Sichtweise: Qualität ist das Einhalten von Spezifikationen. Abweichungen von Vorgaben führen zu verminderter Qualität.
- Die preis-nutzen-bezogene Sichtweise: Qualität wird durch Kosten und Preise ausgedrückt. Ein Qualitätsprodukt wird dann als qualitativ akzeptabel empfunden, wenn es in der Übereinstimmung mit Spezifikationen und akzeptablen Kosten steht [Gar84].

Durch eine Verknüpfung der verschiedenen Sichtweisen wird der Vielschichtigkeit des Qualitätsbegriffes Rechnung getragen [Gar84]. Als Grundlagen zur Umsetzung der Qualität nennt *Garvin* insbesondere die Bereitschaft, Qualität als Strategie begreifen zu wollen [Gar88]. Diese Feststellung ist ein erster Schritt hin zu einem bewussten Qualitätsmanagement.

Qualitätsmanagement

Der Begriff Qualitätsmanagement ersetzt den bis 1992 gültigen Oberbegriff der Qualitätssicherung. Seit Einführung der DIN EN ISO 9000 wird unter Qualitätsmanagement allgemein die Leitung und Lenkung einer Organisation bezüglich der Qualität verstanden. Wichtige Schritte sind insbesondere die Festlegung und die Umsetzung der Qualitätspolitik, der Qualitätsziele, der Qualitätsplanung der Qualitätslenkung, der Qualitätssicherung und der Qualitätsverbesserung [DIN-9000].

Ein Grundpfeiler ist die innere Einstellung, nicht nur den externen Kunden zu berücksichtigen, sondern auch innerhalb der unternehmensinternen Prozesskette Lieferanten-Kunden-Beziehungen zu sehen. Alle Mitarbeiter und Abteilungen des Unternehmens liefern „selbst wieder an „Kunden“ im eigenen Haus, die jeweils ihre besonderen Vorstellungen und Forderungen haben“ [Ehr03].

Der holistische Ansatz nach *Masing* geht einen Schritt weiter und fokussiert das Qualitätsmanagement nicht nur auf die Produktentwicklung und Produktion sondern auf den gesamten Lebenszyklus, also auch auf die Phase der Inbetriebnahme, der After-Sales-Prozesse und letztendlich der Entsorgung [Mas99].

Ehrlenspiel unterscheidet die Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Qualität nach dem Generalisierungsgrad. Zu den allgemein eingesetzten Methoden zählen vor allem

- das Total Quality Management (TQM) und
- der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP) [Ehr03, S. 212].

Zudem existieren Methoden, die den Schwerpunkt stärker auf die Produktentwicklung und die Produktionsplanung legen. Unter diesen Methoden sind insbesondere

- die Quality Function Deployment Methode (QFD) und
- die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) von Bedeutung.

Im Folgenden sollen die genannten Methoden kurz umrissen werden, um einen Gesamtüberblick über das Qualitätsmanagement zu geben.

Total Quality Management

Die zurückgezogene Norm DIN EN ISO 8402 enthält eine sehr treffende Begriffsdefinition von Total Quality Management. Demnach ist TQM eine Managementmethode, die auf die Mitwirkung aller Mitarbeiter einer Organisation gestützt ist. Die Methode rückt die Qualität in den Mittelpunkt des Handelns und sichert insbesondere durch die Zufriedenstellung der Kunden nachhaltig den Geschäftserfolg [DIN-8402].

Total Quality Management ist ein sehr umfassendes und strategisches Konzept, das als Führungsmodell mit einer Änderung der Unternehmenskultur verbunden ist [Ehr03]. Die drei Grundpfeiler des umfassenden Charakters (Total), des Aspektes

Qualität (Quality) und der Führung (Management) besitzen gleichgewichtige Inhalte und zeigen den ganzheitlichen Ansatz der Methode auf. Die drei Grundbestandteile des Total Quality Management sind in **Abbildung 3.2.6** dargestellt.

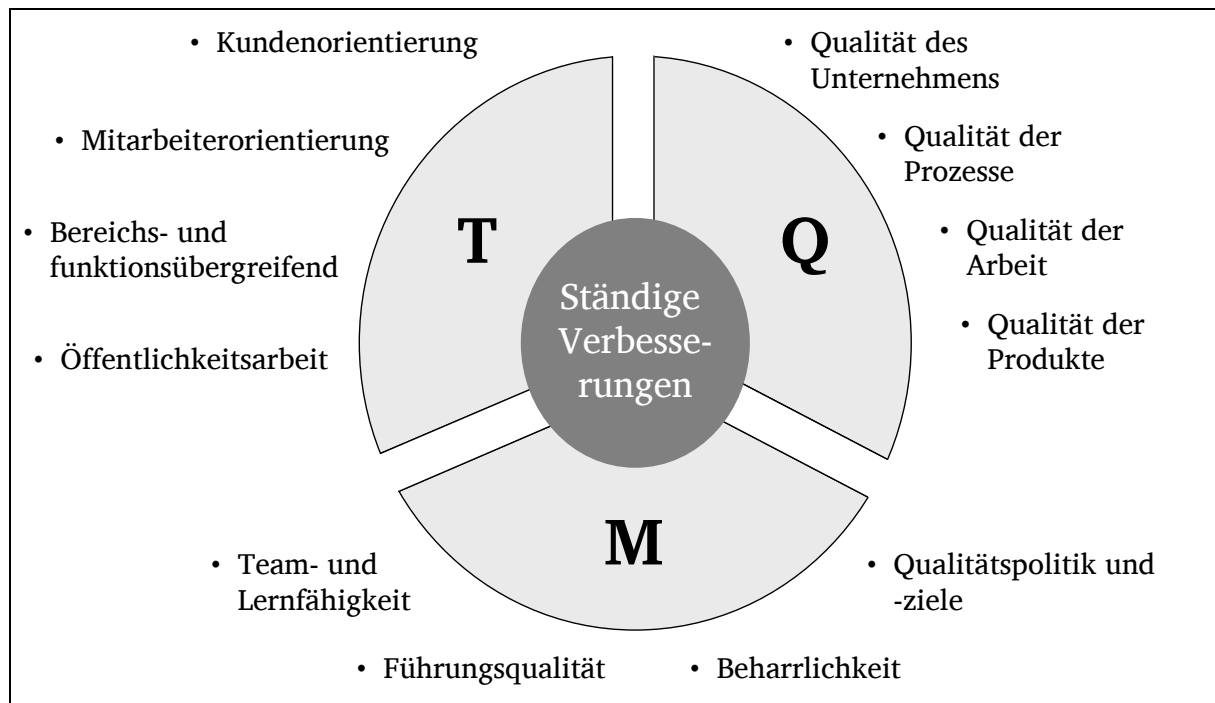


Abbildung 3.2.6: Die Grundpfeiler des TQM [Kam06]

Kennzeichnend für die Methodik TQM ist die Tatsache, dass Kunden, Lieferanten und Mitarbeiter im Mittelpunkt stehen. Entscheidungskompetenzen und die damit einhergehende Verantwortung werden im Wesentlichen auf diese „unterste“ Ebene delegiert [Ehr03].

Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Ein weiterer vor allem in der Automobilindustrie eingesetzter Ansatz zum Management von Qualität ist der kontinuierliche Verbesserungsprozess, der im angloamerikanischen Sprachraum als Continuous Improvement und in Japan als Kaizen bezeichnet wird [Ima92]. Die Besonderheit des Ansatzes KVP liegt im konzentrierten Ablauf in Form von Workshops und der Fokussierung auf die gesamte Wertschöpfungskette. Im Vorfeld werden entsprechende Ergebnismessgrößen und Ziele vereinbart sowie Prozesse definiert, die durch Prozessmessgrößen gesteuert werden [Kam06].

Das Konzept der kontinuierlichen Verbesserung basiert auf dem Deming-Zyklus nach *Deming* [Dem86]. Jeder Vorgang wird dabei als Prozess betrachtet und iterativ verbessert. Das Vorgehen erfolgt nach den Teilschritten des Planens (plan), des Ausführens (do), des Überprüfens (check) und des Verbesserns (act). Nach den angloamerikanischen Bezeichnungen der Schritte wird der Zyklus auch als PDCA-Zyklus bezeichnet.

Quality Function Deployment (QFD)

Eine Methode, die insbesondere in der Produktentwicklung und der Produktionsplanung Einsatz findet, ist der Ansatz Quality Function Deployment (QFD), mit dem Anforderungen integriert und gezielt umgesetzt werden sollen. QFD basiert auf der Verbindung verschiedener Begriffswelten über den Einsatz von Matrizen, die als Kommunikationsmittel und Schnittstellen zwischen den einzelnen Fraktionen in der Produktentwicklung und Produktionsplanung dienen und als House of Quality bezeichnet werden [Ehr03].

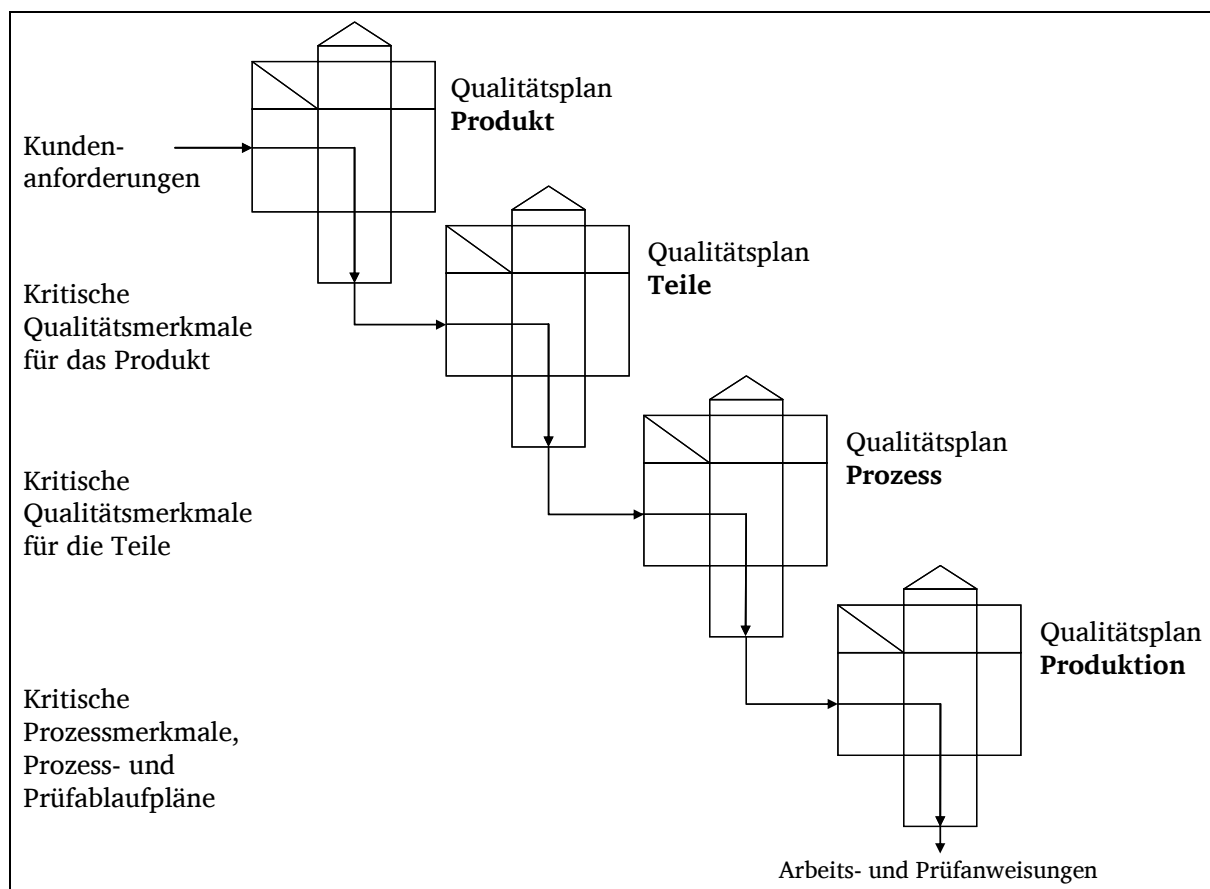


Abbildung 3.2.7: Vier Phasen des QFD [Kam06]

Für jede der in **Abbildung 3.2.7** dargestellten vier Phasen des Quality Function Deployment wird ein House of Quality erstellt. Der Ablauf der Phasen ist prinzipiell ähnlich.

- **Qualitätsplan Produkt:** In der ersten Phase werden die Kundenwünsche in Produktqualitätsmerkmale umgesetzt. Dabei werden die kritischen Merkmale identifiziert.
- **Qualitätsplan Teile:** Die kritischen Merkmale des Produktes gliedern sich in Qualitätsmerkmale der Baugruppen, Unterbaugruppen und Teile.
- **Qualitätsplan Prozess:** Auf Basis der kritischen Merkmale der Teile werden Prozessablaufpläne mit Prozessqualitätsmerkmalen entwickelt.
- **Qualitätsplan Produktion:** In der letzten Phase werden ergänzend Arbeits- und Prüfanweisungen abgeleitet [Kam06].

Indem mit dem Ansatz Quality Function Deployment die Aufbereitung der Problemstellung bereits sehr früh beginnt, können sich in der späten Phase die Anstrengungen auf Bereiche konzentrieren, die sowohl ein hohes Verbesserungspotenzial für den Kundennutzen haben als auch den Nutzen der eingesetzten Ressourcen maximieren. Insbesondere durch eine integrierte Zusammenarbeit aller beteiligten Fakultäten ermöglicht die QFD-Methode erhebliche Kostensenkungen am Produkt [Ehr03].

Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Nach der zurückgezogenen DIN-Norm zur Ausfalleffektanalyse wurde die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse FMEA definiert als qualitative Bewertung von Systemen hinsichtlich des Ausfalls einzelner Systembausteine. Insbesondere bezüglich Zuverlässigkeit, Instandhaltung und Sicherheit sollen Systementwurfverbesserungen ermöglicht werden [DIN-25448].

Ursprünglich stammt die analytische Methode aus den USA und wurde im Rahmen des Apollo-Programms der NASA in den 60er Jahren entwickelt. Insbesondere über die Automobilindustrie fand die Methode in den 70er Jahren nach Europa und wird seitdem erfolgreich eingesetzt [Kam06]. Je nachdem, in welcher Phase des Produktentwicklungsprozesses die Methode verwendet werden soll, wird zwischen Produkt-, Prozess- und System-FMEA unterschieden [Ehr03].

- Die Produkt-FMEA setzt in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase an und wird von einem interdisziplinären Arbeitsteam durchgeführt. Das Produkt ist auf Schwachstellen abzusichern, beispielsweise hinsichtlich Werkstoffauswahl, Geometrie oder wirtschaftlicher Herstellbarkeit.
- Die Prozess-FMEA wird in der Produktionsplanungsphase durchgeführt und bezieht sich auf einen dedizierten Prozess innerhalb der Fertigung. Vor allem die Qualitätsfähigkeit und die Prozessstabilität des Fertigungsverfahrens sowie die Prozesssteuerungsmerkmale sollen ermittelt werden.
- Zuletzt fokussiert die System-FMEA das funktionsgerechte Zusammenwirken einzelner Komponenten eines Systems. Ziel ist es, bereits sehr frühzeitig im Stadium des Systementwurfs Fehler zu vermeiden [Kam06].

Insbesondere für größere, komplexere Systeme ist die FMEA mit sehr viel Aufwand verbunden. Nicht zuletzt wegen des statischen Ansatzes verliert die FMEA deshalb in komplexen Umgebungen an Bedeutung [Gei06].

3.2.4 Change Management

Nicht nur zur Einführung der allgemeinen und speziellen Methoden der Produktionsplanung, sondern vor allem zur Steigerung der Nachhaltigkeit in der Verwendung sowie zur kontinuierlichen Weiterentwicklung existieren die Methoden und Werkzeuge des Change Managements.

Der Begriff Change Management

Eine einheitliche Definition für den Begriff Change Management mit einer allgemeingültigen Rezeptur zum Vorgehen existiert nicht. Vielmehr lassen sich in der Literatur verschiedenartige Wissensansammlungen aus den unterschiedlichsten Disziplinen finden, wie z.B. der Konflikttheorie, dem Innovationsmanagement und der Organisationsentwicklung. Das Change Management bedient sich einzelner Werkzeuge dieser Bereiche und entwickelt daraus eine eigene Methode, deren Kontur jedoch nicht erkennbar ist. [Kob04, Rei97, Sim02]

Eine weitere Definition beschreibt das Change Management als ein Management des Wandels „in einem zeitlich überschaubaren Übergangsprozess zwischen zwei Gleichgewichtszuständen“ [Beg03].

Hinsichtlich der Arten des Change Managements unterscheidet *Reiß* zwei Fälle:

- „proaktiv“: Das proaktive Change Management hat zur Aufgabe, im Unternehmen eine angenehme Arbeitsumgebung zu schaffen, die zur Findung neuer Ideen anregen soll.
- „reaktiv“: bei dieser Art des Änderungsmanagements sind die Konzepte bereits entweder durch interne oder externe Entwicklung ausformuliert. Darauf aufbauend schafft das reaktive Change Management Bedingungen, die die Umsetzung im Unternehmen begünstigen.

Die Durchführung des Change Managements ist mit vielerlei Schwierigkeiten behaftet, welche sich in den Widerständen der an den Änderungsprozessen Beteiligten, den sich daraus ergebenden Konflikten und zudem in Lücken der Wissensbasen darstellen. Trotz allem ist die Methode bei Kenntnis und Beachtung einiger Faktoren erlernbar. [Rei97, Ris05]

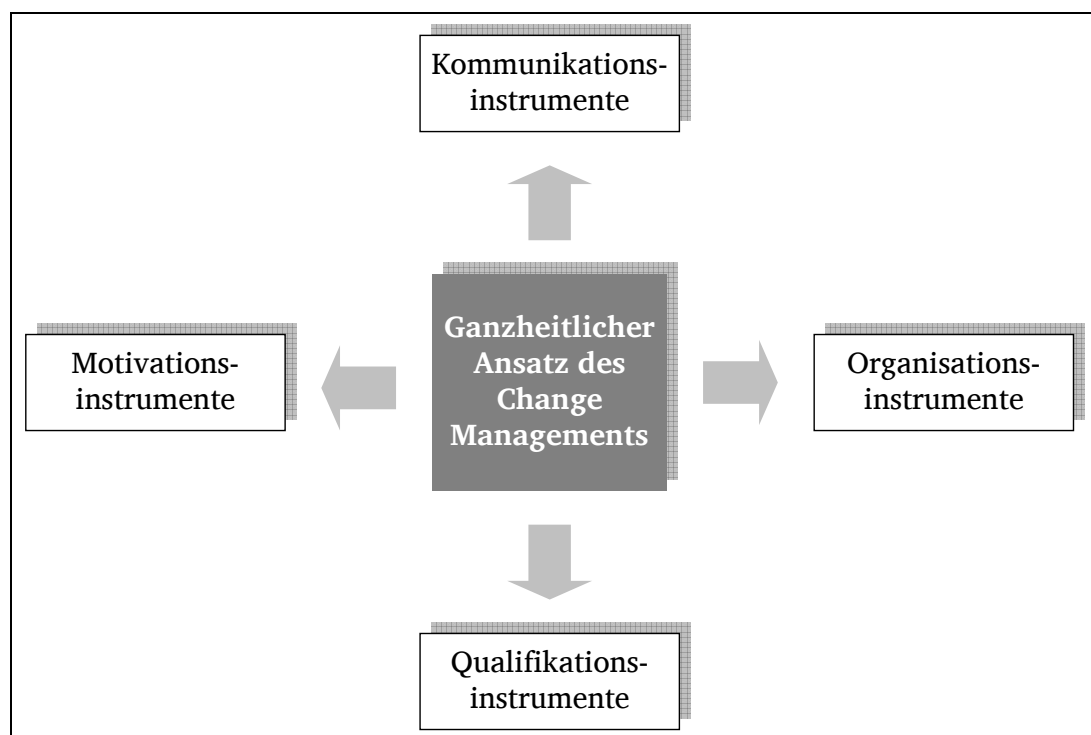


Abbildung 3.2.8: Ganzheitlicher Ansatz des Change Managements [Beg03]

In der Literatur lassen sich je nach Einsatzgebiet und -art diverse Ansätze zur Auffassung des Change Managements finden. So tragen unterschiedliche Faktoren zur abweichenden Auslegung des Begriffs Change Management bei:

- Tragweite, die das Umsetzungsprojekt für die Unternehmensstrukturen zur Folge hat,
- Zeitraum, den das umzusetzende Umsetzungsprojekt beansprucht,
- betroffener Personenkreis, der in die Umsetzung involviert ist (z.B. kleine Abteilung bis hin zum kompletten Unternehmen),
- Objekt der Umsetzung; so kann sich die Änderung von der Einführung eines IT-Systems bis hin zur kompletten Prozessrestrukturierung im Unternehmen erstrecken.

Je nach dem, wo das jeweilige Projekt seinen Schwerpunkt trägt, werden die Ansätze unterschiedlich gewichtet und definiert. Allerdings beinhalten alle Ansätze die in **Abbildung 3.2.8** dargestellten Kernmaßnahmen.

Eine geplante, geänderte Umgebung setzt die Schaffung einer angepassten, auf die Integration vorbereiteten Arbeits- und Unternehmenskultur voraus. Neben einer entsprechenden inhaltlichen Qualifizierung der Mitarbeiter und Vorgesetzten mit den Fähigkeiten, die sie für die Bewältigung der Aufgaben im neuen Umfeld benötigen werden, muss auch die Denkweise auf die prozessorientierten Strukturen adaptiert werden. Ein Denken aller Mitarbeiter in Prozessen soll erreicht werden, wobei jedem die Gesamtzusammenhänge aller Prozesse klar sein müssen.

Umsetzung des Change Managements

Nach *Binner* kann die Umsetzung des Change Managements in Form eines Regelkreises, der in **Abbildung 3.2.9** dargestellt ist, modelliert werden.

Durch einen Anstoß der Veränderungsprozesse oder entsprechenden Leidensdruck in den Fachabteilungen wird die Bewusstseinsbildung initiiert. Anschließend folgt die Änderung der Verhaltens- und Denkweise zur prozessorientierten Form.

Ergebnis ist die Schaffung der neuen Unternehmenskultur. Im nächsten Schritt findet die eigentliche Umsetzung statt, die Konflikte mit sich bringt. Zu deren Beseitigung müssen entsprechende Maßnahmen gefunden und umgesetzt werden. Die zu erwartenden Ergebnisse sollten sich schließlich in einer Leistungssteigerung zeigen. Messbar werden die Verbesserungen anhand von Kennzahlen oder Lernkurven.

Anhand neuer Anreize und des ständigen Erhalts von Verbesserungsvorschlägen durch die Mitarbeiter soll der Kreis der permanenten Entwicklung und Umsetzung optimierter Prozesse am Leben gehalten werden.

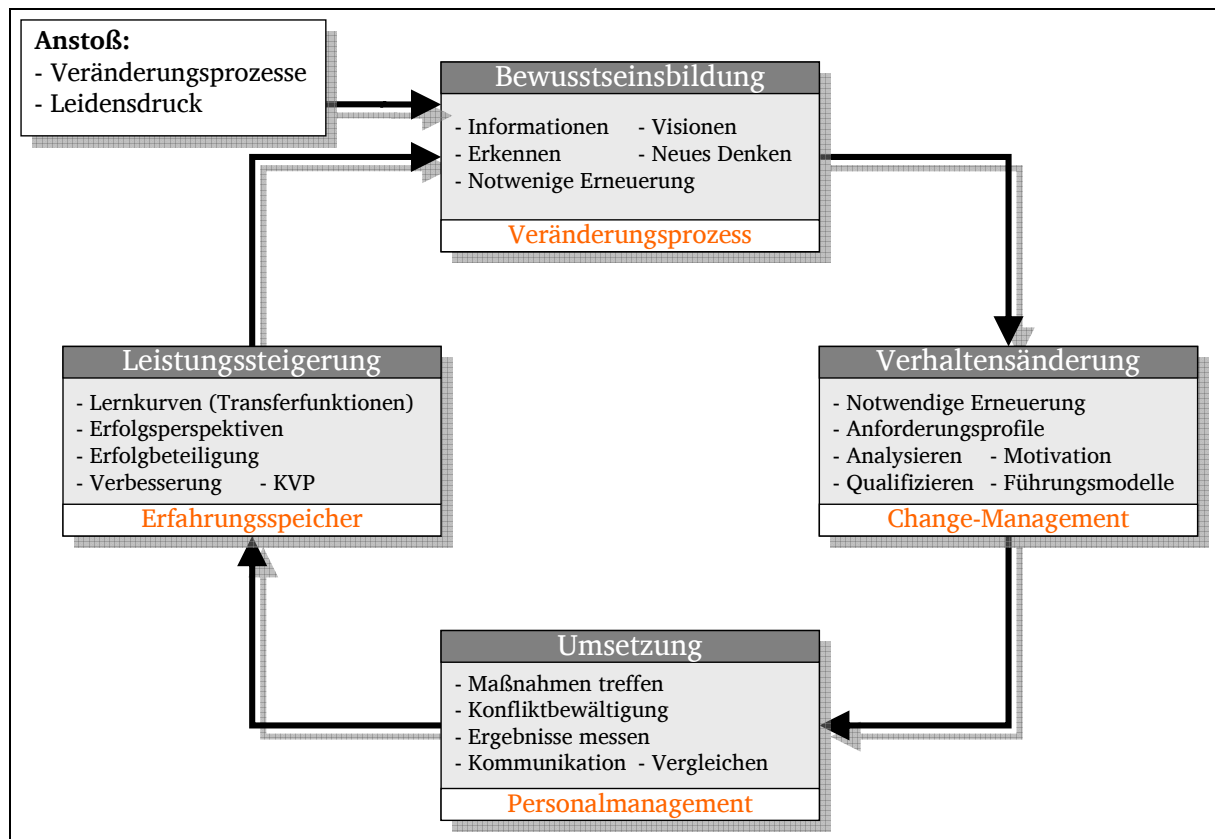


Abbildung 3.2.9: Regelkreis des Change Management [Bin98]

Nach *Streich* verläuft der Veränderungsprozess innerhalb eines 7-Phasen Modells, wie es in **Abbildung 3.2.10** dargestellt ist. Dieses Modell stellt in einem Diagramm die verschiedenen Phasen der Reaktionen und Handlungsweisen den wahrgenommenen Kompetenzen der Betroffenen gegenüber. Allerdings durchläuft jede Person die Phasen auf seine eigene Art und Weise. So variieren die individuellen Kurven hinsichtlich der Intensität der Reaktionen und den zeitlichen Verläufen. Während die eine Person beispielsweise schnell in einen starken Schock verfällt und eine lange Zeit zur Integration benötigt, können die Auswirkungen bei einem Kollegen deutlich geringer ausfallen, so dass mit seiner raschen Projektbeteiligung zu rechnen ist [Str03].

Nach einem anfänglichen Schock durch die Konfrontation mit den geplanten Vorhaben der Veränderung folgen die Stufen der Verneinung, Einsicht und der Akzeptanz.

Die wahrgenommene Kompetenz setzt sich aus dem Wollen (Motivation), Dürfen, Können (Qualifikation) und dem Tun des Mitarbeiters zusammen. Gemeinsam bilden sie die Faktoren, die zur Steigerung der Akzeptanz beitragen. [Rei97]

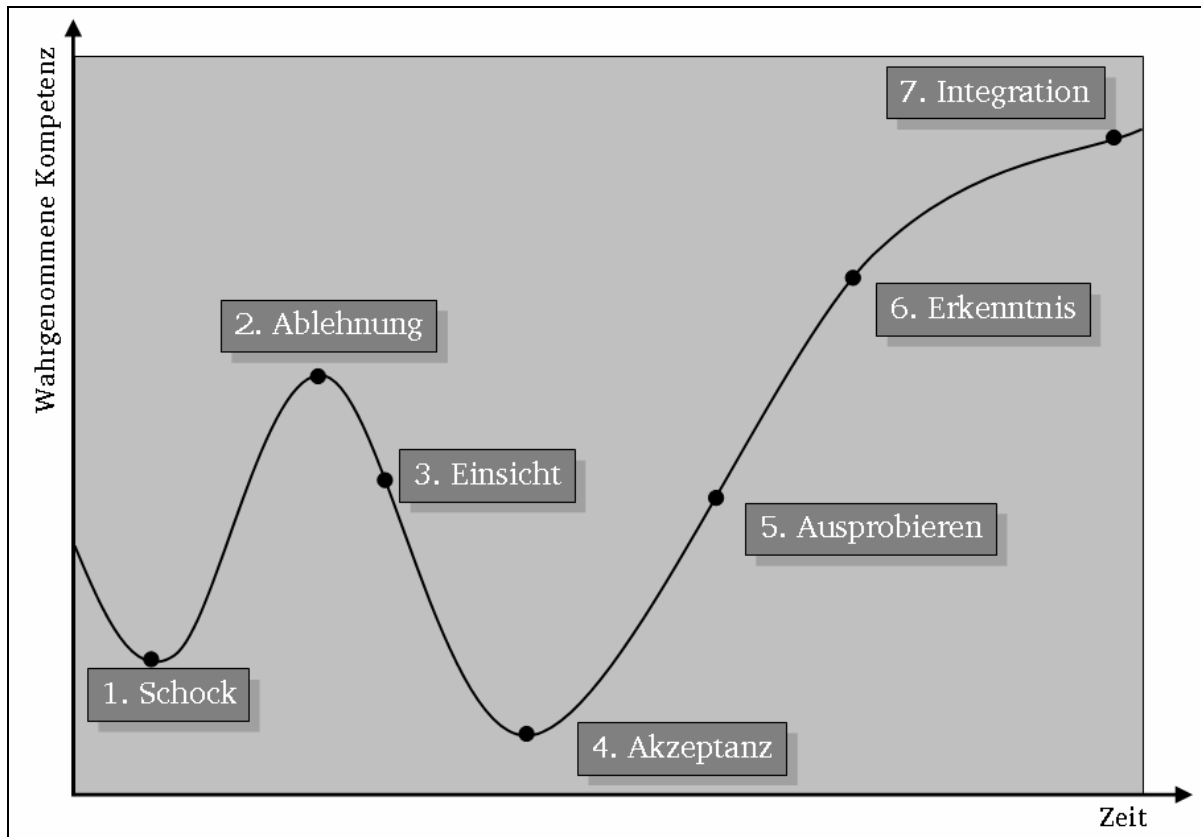


Abbildung 3.2.10: Das Sieben-Phasen-Modell des Change Management [Str03]

Zur endgültigen und erfolgreichen Erlangung der Stufe der Integration, in der die Verhaltens- und Verfahrensweisen der Veränderung in das eigene Handlungsrepertoire übergehen, ist eine Steigerung der wahrgenommenen Kompetenz durch die Steuerung des Change Managements zwingend notwendig [Str03].

3.3 Spezielle Methoden der Produktionsplanung

3.3.1 Computer Integrated Manufacturing

Eine Methode, die insbesondere die Prozesse der Produktionsplanung fokussiert, ist der bereits in den 80er Jahren entwickelte Ansatz des Computer Integrated Manufacturing (CIM). Während in der Vergangenheit in den einzelnen Planungsbereichen der Unternehmen isolierte Informationssysteme mit teilweise redundanten

Datenbeständen existierten, sollte über dieses ganzheitliche Konzept eine Integration technischer und betriebswirtschaftlicher Teilbereiche erfolgen [Dom97].

Prinzipieller Aufbau des CIM-Ansatzes

Die computerintegrierte Fertigung soll den gesamten Produktentstehungsprozess, vom Entwurf über Konstruktion und Planung bis hin zur Qualitätsprüfung und zur Auslieferung des Produktes, umfassen. CIM erfordert dafür eine konsistente Datenhaltung in einer integrierten Datenbank [Kla92].

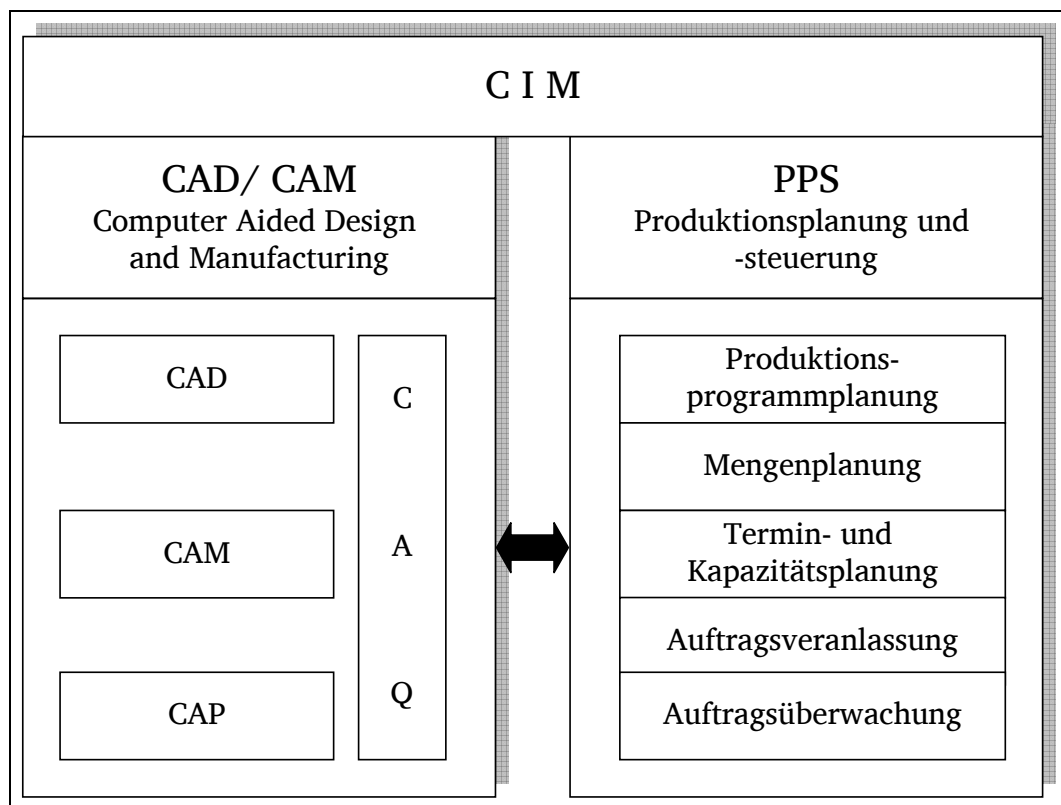


Abbildung 3.3.1: Komponenten des CIM-Konzeptes [Awf85]

Nach der Empfehlung des Ausschusses für Wirtschaftliche Fertigung (AWF e.V.) gliedert sich das CIM-Konzept, wie die **Abbildung 3.3.1** zeigt, in die Hauptkomponenten der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) sowie des Computer Aided Design beziehungsweise Manufacturing (CAD/ CAM). Während betriebswirtschaftliche Prozesse über die Komponente PPS abgedeckt werden, soll die technische Prozesskette durch CAD/ CAM unterstützt werden [Wöh00; Awf85].

Der technische Prozess besteht aus den Einzelkomponenten CAD, CAM, CAP und CAQ, die im Folgenden kurz umrissen werden:

- CAD steht für Computer Aided Design und unterstützt den Konstruktionsprozess durch grafische Darstellungen am Bildschirm. In der Automobilindustrie findet überwiegend die Software Catia V5 des Softwareherstellers Dassault Systemes Einsatz. Fahrzeugbauteile werden beispielsweise zunehmend auch als Volumenmodelle im dreidimensionalen Raum konstruiert und evaluiert.
- Unter CAM, dem Computer Aided Manufacturing, wird prinzipiell die rechnergestützte Steuerung von technischen Basissystemen verstanden. Zu den Basissystemen zählen neben numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen (NC-Maschinen) auch Roboter, fahrerlose Transportsysteme sowie automatische Lagerhaltungs- und Logistiksysteme [Kur93].
- CAP bedeutet Computer Aided Planning und soll den Prozess der Arbeitsplanerstellung unterstützen. Ergebnisse sind beispielsweise Fertigungspläne, NC-Programme oder Montageanweisungen [Kla92].
- CAQ steht für Computer Aided Quality und subsumiert computerunterstützte Maßnahmen zur Qualitätssicherung. In der Unternehmenspraxis sind vor allem Prüfprogramme und Messsysteme zur Bestimmung von Überschreitungen vorgegebener Toleranzgrenzen im Einsatz.

Zudem wird häufig der Begriff CAE verwendet. Das Akronym steht für Computer Aided Engineering, wird jedoch sehr uneinheitlich verwendet. Zumeist subsumieren sich darunter Umfänge des Computer Aided Planning, insbesondere bei Unterstützung durch Simulation und Virtualisierungstechnologie.

Im Gegensatz zu den Komponenten der CAD/ CAM-Prozesskette unterstützen die Systeme der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) die betriebswirtschaftlichen, planerischen Prozesse. Grundsätzlich besteht ein traditionelles PPS-System aus den in Abbildung 3.3.1 dargestellten fünf Modulen.

- Innerhalb der Produktionsprogrammplanung wird der Bedarf an Endprodukten – der so genannte Primärbedarf – festgelegt. Während bei einer auftragsbezogenen Fertigung die Kundenauftragsverwaltung als Datengrundlage fungiert, basiert die Programmplanung bei Massenfertigung auf Absatzprognosen [Wöh00].

- Im Rahmen der Mengenplanung werden die Sekundärbedarfe, also die Mengen der einzelnen Bestandteile des späteren Produktes, ermittelt. Dies erfolgt über die so genannte Stücklistenauflösung [Kur93].
- Im Anschluss erfolgt die Termin- und Kapazitätsplanung. Innerhalb der Terminplanung werden zunächst für jeden Fertigungsauftrag die frühesten und spätesten Zeitpunkte für die Bearbeitung sowie die Pufferzeiten beispielsweise mit Hilfe der Netzplantechnik ermittelt. Im Rahmen der Kapazitätsplanung wird ein Abgleich zwischen Kapazitätsbedarf und -angebot durchgeführt [Dom97].
- Mit der Auftragsveranlassung beginnt der Einsatz der Steuerungskomponente eines PPS-Systems. Die terminlich und kapazitiv eingeplanten Fertigungsaufträge werden zumeist dezentral disponiert. Mit einem sehr kurzen Planungshorizont von etwa zwei Wochen wird festgelegt, in welcher Reihenfolge die Aufträge auf der beplanten Maschine gefertigt werden [Wöh00].
- Klassische PPS-Systeme verfügen zudem über ein Modul zur Auftragsüberwachung. Sowohl Rückmeldungen über den Auftragsfortschritt als auch über Zustände der Betriebsmittel werden mit Hilfe der Betriebsdatenerfassung (BDE) zur Verfügung gestellt. Ziel ist es, die Plandaten mit den tatsächlichen Ist-Daten aus der Fertigung abzugleichen und gegebenenfalls die kurzfristige Detailplanung anzupassen [Dom97].

Der Ansatz des Computer Integrated Manufacturing steht für eine Integration der vorgestellten technischen Prozesskette mit den betriebswirtschaftlichen, planerischen Prozessen.

Ablauf einer computerintegrierten Fertigung

Um insbesondere der integrierenden Komponente der Methode Rechnung zu tragen und die Zusammenführung von Planungsergebnissen in der Fertigung darzustellen, entwickelte *Scheer* Anfang der 90er Jahre das so genannte Y-Modell, das in **Abbildung 3.3.2** gezeigt ist.

Dabei müssen sowohl die primär technisch orientierten CAD/ CAM-Prozesse untereinander als auch mit den betriebswirtschaftlich planerisch geprägten Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung integriert werden. Bereits Ende der 80er

Jahre stellte *Scheer* fest, dass eine Rationalisierung durch integrierte Datenverarbeitung nur dann eintritt, „wenn der gesamte Regelkreis geschlossen ist“ [Sche89, S. 4].

Der Datenaustausch zwischen der technischen und der betriebswirtschaftlichen Fraktion erfolgt über Stücklisten, in denen das zu fertigende Produkt bis auf die Einzelteilebene strukturiert aufgelöst wird.

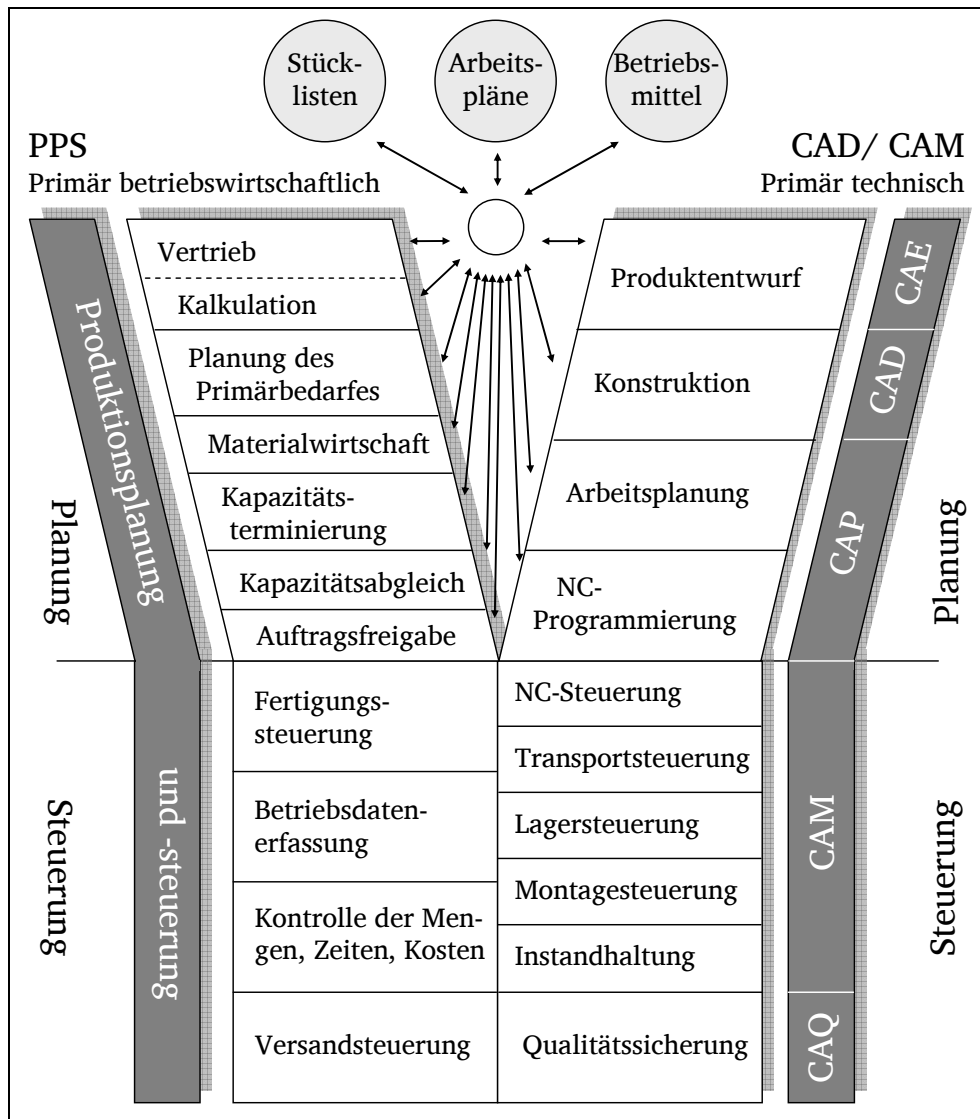


Abbildung 3.3.2: Das Y-Modell nach Scheer [Sche89]

In den letzten Jahren kristallisierten sich auch andere Methoden und Werkzeuge zur Integration primär innerhalb der CAD/ CAM-Prozesskette heraus.

3.3.2 Featurebasierte Prozessketten

Eine Methode für eine derartige Zusammenführung der technischen Prozessschritte ist die Verwendung von Features im Sinne einer featurebasierten Prozesskette, deren Weiterentwicklung insbesondere in den letzten Jahren sehr stark forciert wurde.

Der Begriff Feature

Die aus interdisziplinären Forschern, Anwendern und Entwicklern bestehende akademische Gruppierung „Feature Modelling Experts“ (FEMEX) präsentierte bereits 1996 eine sehr allgemeine Definition für den Begriff Feature [Bär96]. Demnach wird festgestellt, dass Features keine physikalischen Elemente sind, sondern nur in der Welt informationstechnischer Modelle existieren. Die eigentliche Grundlage der Definition war nicht allein die Bauteilgeometrie, sondern die für den Anwender relevanten Eigenschaften des Produktes [Vaj98].

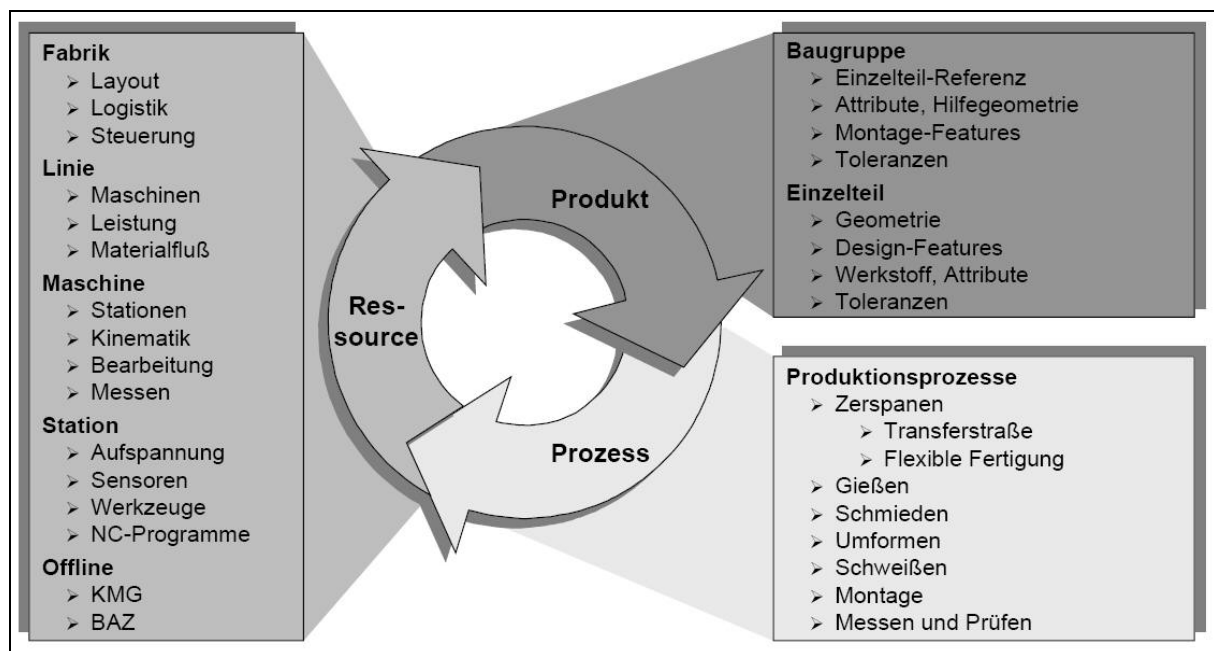


Abbildung 3.3.3: Produkt, Prozess und Ressource [Haa99]

Im Gegensatz zu den herkömmlichen 3D-Objekten verfügen Features über eine Syntax und eine Semantik. Während die Syntax die Gestalt abbildet, dient die Semantik zur Beschreibung der technischen Bedeutung. Somit wird eine Definition komplexerer Zusammenhänge zwischen Geometrie und Semantik ermöglicht [Ovt97]. Durch eine durchgängige Verwendung von Features in Entwicklung,

Planung und Fertigung sollen die entsprechenden Prozesse hinsichtlich Kosten und Qualität optimiert werden [Haa99].

Die VDI-Richtlinie 2218 aus dem Jahr 2003 erweitert den Featurebegriff. Sie stellt fest, dass ein Feature nicht zwangsläufig aus Semantik und Syntax bestehen muss, sondern erlaubt auch eine Oder-Beziehung. Hiermit wird neueren IT-Systemen Rechnung getragen, die entweder nur mit der Geometrie, im Sinne von Formfeatures, oder nur mit der semantischen Bedeutung, also ohne eine Verarbeitung der geometrischen Informationen, arbeiten [Vdi03].

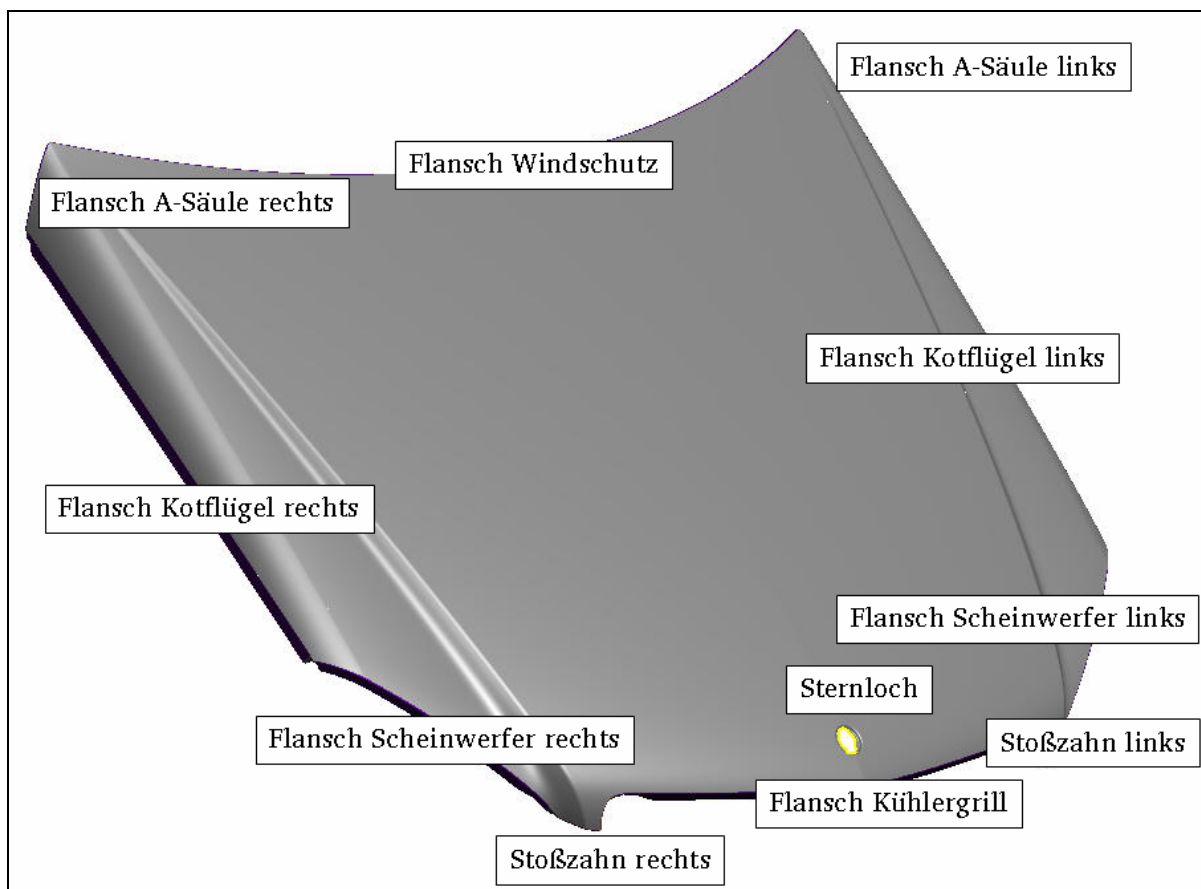


Abbildung 3.3.4: Features am Beispiel einer Motorhaube

Die Verknüpfung zwischen der Produktmodellierung sowie der Prozess- und Ressourcenplanung ist in **Abbildung 3.3.3** dargestellt. Teilweise sind für die einzelnen Bereiche in der Automobilindustrie „Best-of-Class“-Lösungen implementiert. Der Gesamtplanungsprozess ist somit gezeichnet vom Einsatz vieler Softwareinseln, die nicht untereinander vernetzt sind. An den Schnittstellen gehen deshalb vor allem semantische Informationen verloren. Erst die Verwendung von Features ermöglicht eine durchgängig digitale Planung, wobei insbesondere der Transfer von

Produkt- und Prozess-Know-How einen wesentlichen Vorteil der Feature-Technologie darstellt [Haa99].

Aus Sicht der Presswerkplanung ist ein Feature eine geometrische Eigenschaft, ein Bereich eines Fahrzeugbauteils, das sich je nach Anwendungsgebiet unterschiedlich definiert. Für die Presswerkplanung interessante Bauteildetails sind alle Löcher und Durchbrüche am Bauteil sowie die Flansche, die nicht in der Ziehstufe realisiert werden können. Dies ist der Fall, weil eben jene genannten Features in einem oder mehreren Nachfolgewerkzeugen fertigungstechnisch realisiert werden müssen.

Exemplarisch an der Beplankung der Motorhaube der aktuellen C-Klasse-Limousine sind in **Abbildung 3.3.4** die für eine Presswerkplanung relevanten Features aufgezeigt. Im Rahmen der Produktionsplanung für das Gewerk Presswerk sind nur die Features von Bedeutung, die nicht in einem Zug gefertigt werden können. Für die Prozess- und Ressourcenplanung sind bei dem Beispiel der Motorhaube die linken und rechten Flansche Stoßzahn, Scheinwerfer, Kotflügel, A-Säule, sowie der Ausschnitt für das Sternloch, der Flansch Windschutz und der Flansch Kühlergrill maßgebend.

Anwendungsstrategien und Architekturen

Die Anwendungsstrategien für die Feature-Technologie unterteilen sich grundsätzlich in vier Teilbereiche [Web99]:

- Feature-basiertes Modellieren (Design by Feature) stellt die Beschreibung eines Produkts mit Hilfe von in Feature-Bibliotheken bereitgestellten Features dar.
- Feature-Erkennung (Feature Recognition) ist das Finden von Eigenschaften in einer Klasse. Prinzipiell gliedert sich die Erkennungsstrategie in die manuelle und die automatische Feature-Erkennung.
- Feature-Transformation (Feature Mapping) beschreibt das Übersetzen einer Bedeutung innerhalb einer Eigenschaftsklasse in die meist ebenfalls "höherwertige" Bedeutung einer anderen Eigenschaftsklasse (z.B. Übersetzung funktionaler Eigenschaften in Fertigungselemente).
- Erzeugung benutzerspezifischer Features (User Defined Features) beinhaltet die benutzerdefinierte Anpassung vorgegebener Feature-Bibliotheken.

Abbildung 3.3.5 zeigt die auf den Anwendungsstrategien basierenden Architekturkonzepte nach [Rie95]. Die in der Produktentwicklung eingesetzte Feature-Strategie besteht aus dem featurebasierten Modellieren. Diese IT-Systeme besitzen neben einem Geometrie- auch einen Feature-Modellierer. Während im Feature Modellierbereich die semantischen Informationen verarbeitet werden, nimmt der Geometriemodellierer Änderungen an der Feature-Geometrie vor. Um Inkonsistenzen bei einseitigen Anpassungen zu verhindern, sind beide Teilbereiche über eine bidirektionale Schnittstelle verbunden.

Insbesondere im Rahmen der Arbeitsplanung wird häufig die Strategie der Feature-Erkennung eingesetzt. Ein Geometriemodellierer kann ein Bestandteil dieser Architektur sein, zumeist verfügen derartige Systeme jedoch nur über Schnittstellen zum Import gängiger CAD-Formate. Die Umwandlung des Geometriemodells erfolgt entweder automatisch oder über Benutzerinteraktionen.

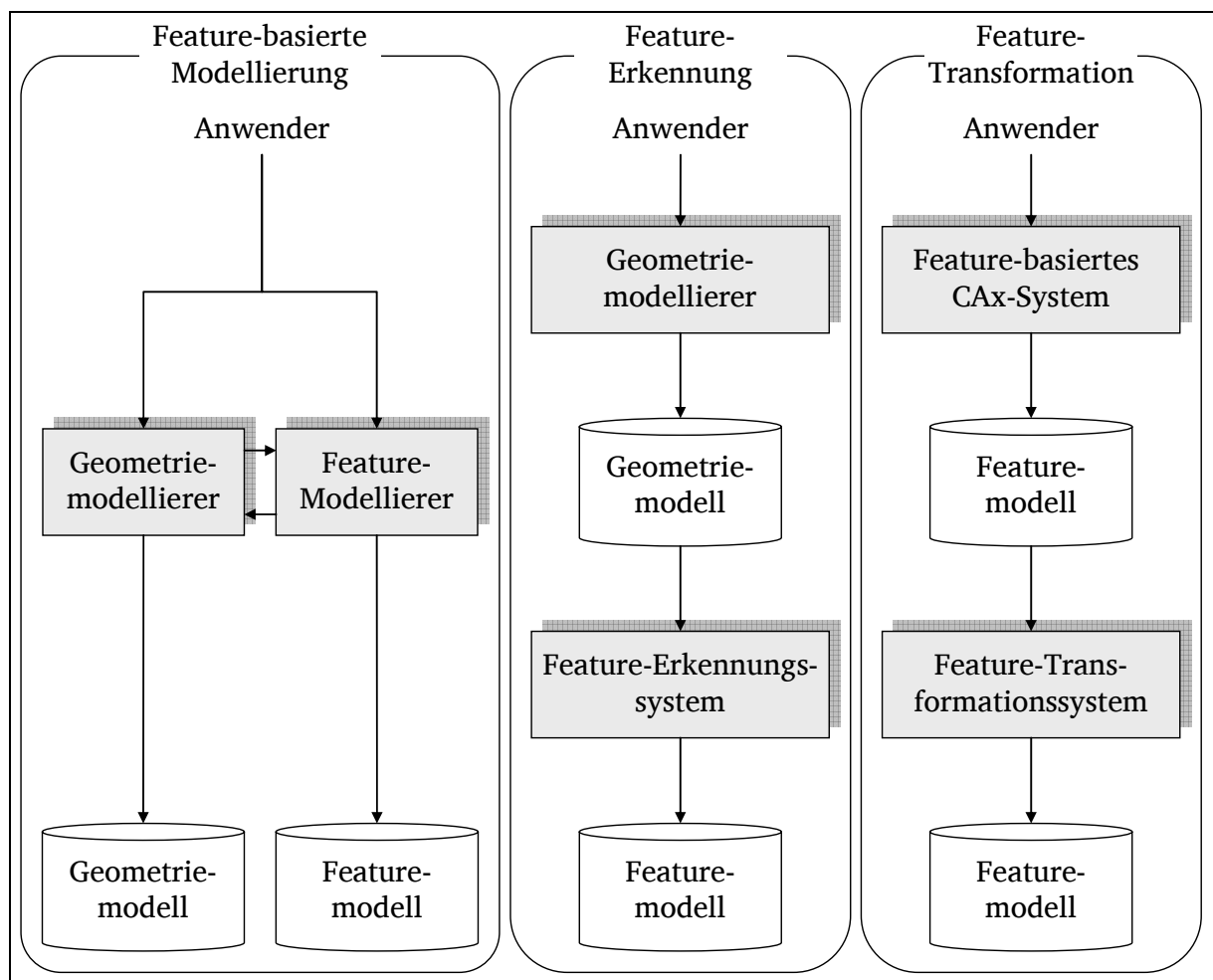


Abbildung 3.3.5: Architekturkonzepte nach [Rie95]

Im Gegensatz zu Feature-Erkennungssystemen wird bei der Feature-Transformation ein vorhandenes Feature-Modell in ein anderes umgewandelt. Entsprechend ist auch die Systemarchitektur gestaltet [Web99].

Feature-Technologie im Karosserierohbau

In der Konstruktion von Blechbauteilen im Karosserierohbau ist die Verwendung von Features der Stand der Technik. **Abbildung 3.3.6** zeigt die Verwendung von Konstruktions-Features am Beispiel eines Langloches. Im Konstruktionsablauf wird zunächst eine Position festgelegt. Anschließend erfolgen die Verknüpfung der relevanten Oberflächen sowie die Wahl der Orientierung und der Feature-Richtung. In einem nächsten Schritt werden die Länge und die Breite des Features definiert. Schließlich erfolgen die Projektion und der Beschnitt am Bauteil.

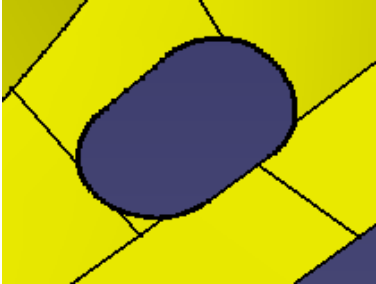
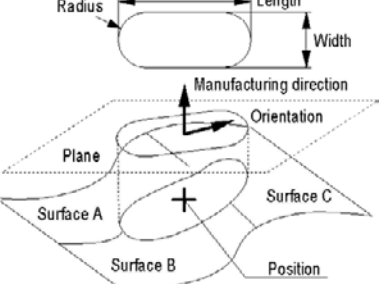
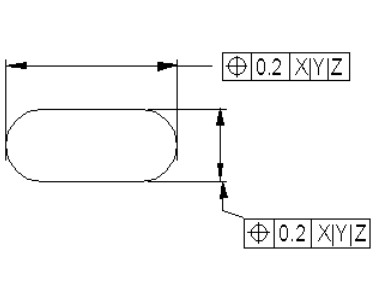
																									
<p>Konstruktionsablauf:</p> <ul style="list-style-type: none"> Definition der Position Verknüpfung der Oberflächen Wahl der Orientierung Wahl der Feature-Richtung Definition von Breite und Länge Projektion Beschnitt 	<table border="0"> <tr> <td>Standardtoleranzen:</td> <td style="text-align: center;">± 0.01</td> <td style="text-align: center;">\oplus</td> </tr> <tr> <td>Kabeldurchgangsloch</td> <td style="text-align: center;">0.2,-0.1</td> <td style="text-align: center;">0.5,-0.5</td> </tr> <tr> <td>Fixierloch</td> <td style="text-align: center;">0.1,-0.1</td> <td style="text-align: center;">0.2,-0.2</td> </tr> <tr> <td>Zugangsloch</td> <td style="text-align: center;">0.2,-0.1</td> <td style="text-align: center;">0.5,-0.5</td> </tr> <tr> <td>Schweissloch</td> <td style="text-align: center;">0.5,-0.5</td> <td style="text-align: center;">0.5,-0.5</td> </tr> <tr> <td>Lackablaufloch</td> <td style="text-align: center;">2,-2</td> <td style="text-align: center;">1,-1</td> </tr> <tr> <td>Befestigungsloch</td> <td style="text-align: center;">0.2,-0.1</td> <td style="text-align: center;">0.5,-0.5</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td style="text-align: center;">...</td> <td style="text-align: center;">...</td> </tr> </table>	Standardtoleranzen:	± 0.01	\oplus	Kabeldurchgangsloch	0.2,-0.1	0.5,-0.5	Fixierloch	0.1,-0.1	0.2,-0.2	Zugangsloch	0.2,-0.1	0.5,-0.5	Schweissloch	0.5,-0.5	0.5,-0.5	Lackablaufloch	2,-2	1,-1	Befestigungsloch	0.2,-0.1	0.5,-0.5
Standardtoleranzen:	± 0.01	\oplus																							
Kabeldurchgangsloch	0.2,-0.1	0.5,-0.5																							
Fixierloch	0.1,-0.1	0.2,-0.2																							
Zugangsloch	0.2,-0.1	0.5,-0.5																							
Schweissloch	0.5,-0.5	0.5,-0.5																							
Lackablaufloch	2,-2	1,-1																							
Befestigungsloch	0.2,-0.1	0.5,-0.5																							
...																							

Abbildung 3.3.6: Konstruktionsfeature Langloch mit Standardtoleranzen

Neben dem Langloch befinden sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Features, wie beispielsweise eine Durchstellung, ein Rundloch oder ein Rechteckloch, in Verwendung. **Abbildung 3.3.7** zeigt den Zusammenhang zwischen der Funktion und der Form des Features.

Mit der Instanziierung eines Features muss also nicht nur eine Form gewählt, sondern auch eine Funktion spezifiziert werden. Mit den unterschiedlichen Funktionen sind verschiedene semantische und syntaktische Informationen als

Standard definiert. So ist in Abbildung 3.3.7 eine Auswahl an Funktionen für Lochfeatures dargestellt. Ein Lackablaufloch ermöglicht beispielsweise den Ablauf von überschüssigem Lack, der während des Fertigungsprozesses im kathodischen Tauchbad aufgebracht wird. In Abbildung 3.3.6 sind zudem die erforderlichen Längen- und Lagetoleranzen dargestellt, die insbesondere auf die planerischen Schritte innerhalb der Prozesskette Presswerk eine große Auswirkung haben.

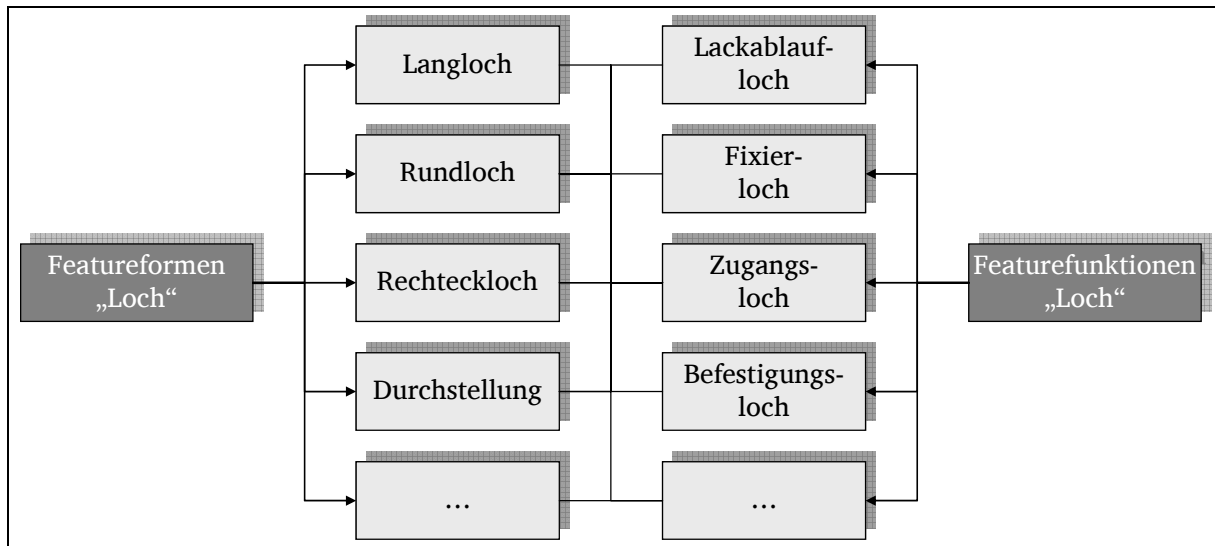


Abbildung 3.3.7: Featureklassifizierung nach Form und Funktion

3.3.3 Product Lifecycle Management

Ein weiteres wichtiges Konzept, das in der Produktionsplanung Einsatz findet, ist das Product Lifecycle Management (PLM).

Begriffsdefinition PLM

Das Product Lifecycle Management beschäftigt sich mit der Verwaltung der relevanten Produktdaten über den gesamten Lebenszyklus, also von einer ersten Konzeption bis hin zur Produkteinstellung. Um dies zu erreichen, werden verschiedene bestehende betriebswirtschaftliche Konzepte, wie beispielsweise Customer Relationship Management (CRM), Enterprise Resource Planning (ERP) und Supply Chain Management (SCM), integriert. PLM umfasst damit nicht nur das Datenmanagement während der Produktentwicklung (PDM), sondern auch in den vor und den nach gelagerten Phasen, wie beispielsweise dem After Sales [Gör06].

Abbildung 3.3.8 zeigt die historische Entwicklung des Product Lifecycle Managements. Ausgangspunkt war Anfang der 90er Jahre die Speicherung von Produktda-

ten, wie beispielsweise technische Zeichnungen, in Ingenieursdatenbanken, den so genannten Engineering Databases (EDB). Darauf folgte mit dem Engineering Data Management (EDM) erstmals ein Ansatz zur konsistenten und strukturierten Speicherung von Daten und Prozessen über den Lebenszyklus. Der Schwerpunkt lag jedoch insbesondere auf den technischen Daten des Engineering. Erst mit dem Product Data Management (PDM) sollte erreicht werden, dass wirklich alle Beteiligten des Produktentwicklungsprozesses mit denselben aktuellen Daten arbeiten. Zudem wurden entsprechende Prozesse zur Datenfreigabe implementiert. Obwohl PDM tendenziell stärker als EDM die umfassende Beteiligung am Entwicklungsprozess fördert, werden die beiden Begriffe oftmals als Synonyme verwendet [Vdi02]. Mit der nächsten Ausbaustufe, dem collaborative Product Data Management (cPDM), wurde insbesondere der Aspekt der simultanen, unternehmensübergreifenden Produktentwicklung verstärkt in den Vordergrund gerückt [Gör06].

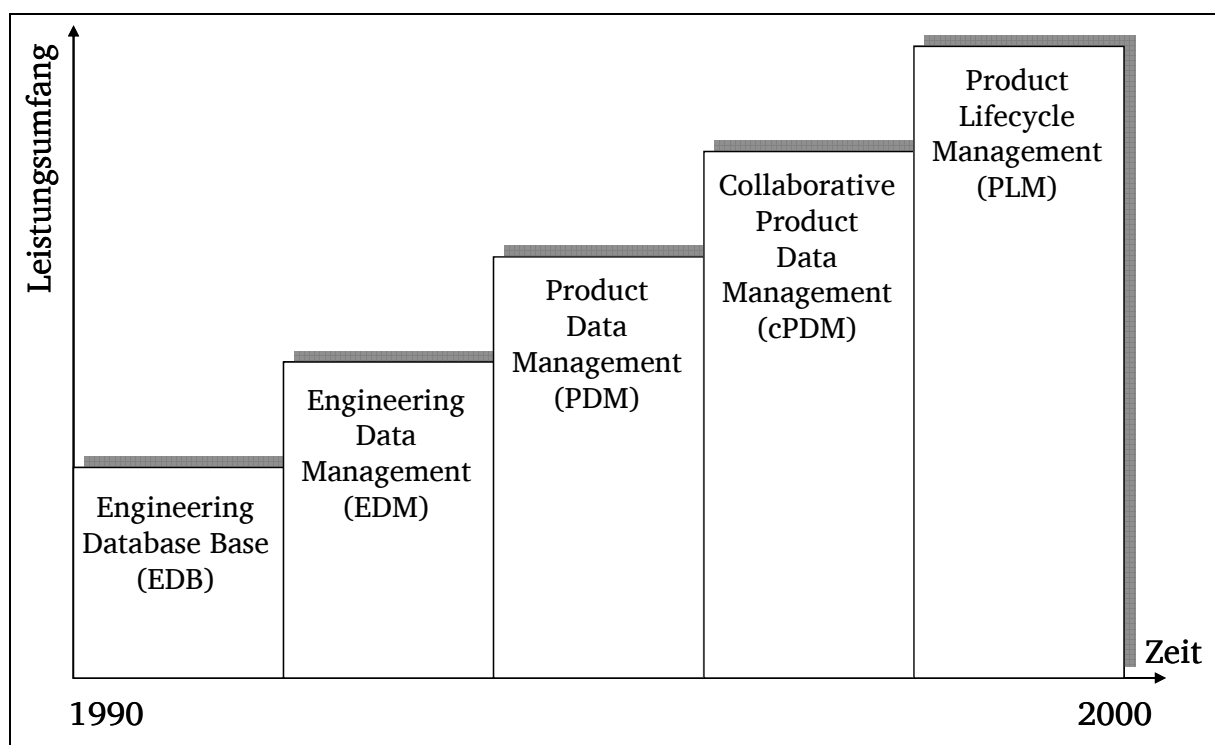


Abbildung 3.3.8: Historische Entwicklung von PLM [Fiz06]

Das Product Lifecycle Management fokussiert schließlich den gesamten Produktlebenszyklus von der Konzept- und Entwicklungsphase bis hin zu Produktion, Inbetriebnahme und After Sales. Zudem war es durch die Internettechnologie möglich, den externen Lieferanten und Kunden sehr einfach Zugriff über einen Standard-Web-Browser zu gestatten [Gör06]. PLM ist damit eine logische und sinnvolle Erweiterung des PDM-Gedankens [Zet06].

Verzahnung im Rahmen des Product Lifecycle Managements

Eine wichtige Aufgabe des Product Lifecycle Managements ist die Verzahnung zwischen der produktzentrischen und der ressourcenorientierten Sicht. In **Abbildung 3.3.9** sind beide Sichten auf die Wertschöpfungskette dargestellt.

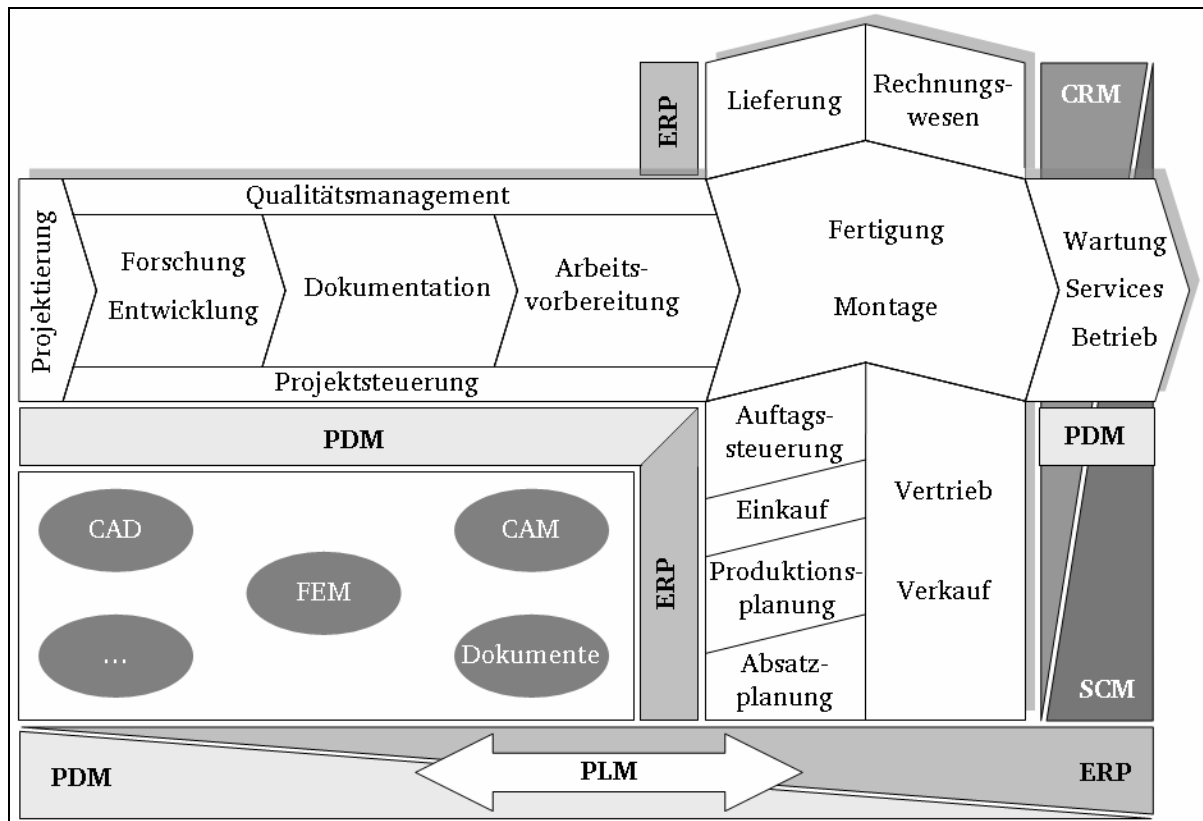


Abbildung 3.3.9: PLM zwischen Produkt- und Ressourcensicht [Kar06]

In der horizontalen Ebene der Abbildung wird die produktzentrische Sicht von Projektierung, Forschung und Entwicklung, Dokumentation, Arbeitsvorbereitung bis hin zur Produktion und den After Sales-Prozessen gezeigt. Über diese gesamte Prozesskette ist durch das PDM die konsistente, versionierte Datenhaltung für alle durch FEM- und CAx-Systeme erzeugten Daten gewährleistet. Zudem können relevante Dokumente, wie beispielsweise Stücklisten oder Pflichtenhefte, gespeichert werden.

Parallel zu PDM haben sich aus den ursprünglichen Materialwirtschafts- und Produktionsplanungssystemen ganzheitliche IT-Systeme zum Enterprise Resource Planning (ERP) entwickelt. Diese Systeme decken die vertikale Achse in der Abbildung 3.3.9 ab und erlauben es, „alle für die Herstellung, den Vertrieb und die Kundenbetreuung notwendigen Ressourcen, Daten und Informationen zu verwalten

und zu optimieren“ [Kar06]. Insbesondere für die Anbindung von Zuliefern und Lieferanten existieren zudem spezielle Softwarelösungen im Umfeld des Supply Chain Managements (SCM) und des Customer Relationship Managements (CRM), die jedoch oft systemtechnisch in den ERP-Lösungen integriert sind.

Die produktzentrische und die ressourcenorientierte Welt sind heute noch IT-technisch sehr stark getrennt. Anspruch moderner PLM-Systeme ist es, eben jener Trennung entgegenzuwirken, indem eine Verzahnung mit den ERP-Systemen angestrebt wird. Zudem sollen insbesondere über Unternehmensgrenzen hinweg Lieferanten und Kunden mit einbezogen werden. Deutlich wird diese Absicht vor allem durch die Tatsache, dass der Marktführer bei ERP-Systemen, die SAP AG, bereits ein Modul für das Product Lifecycle Management (SAP PLM) im Angebot hat.

3.3.4 Digitale Fabrik

Eine weitere Methode, die im Rahmen der Produktionsplanung eingesetzt wird, ist die Digitale Fabrik.

Der Begriff Digitale Fabrik

Unter Digitaler Fabrik wird in der Automobilindustrie ein vollständiges digitales Abbild der realen Fabrik verstanden. In diesem Umfeld sollen die Strukturen und Produktionsprozesse dargestellt, simuliert und somit erlebbar gemacht werden [Wes03]. Der Fachausschuss Digitale Fabrik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) definiert die Digitale Fabrik als „Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und 3-D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ [Vdi06].

Die **Abbildung 3.3.10** zeigt den Fokus der Werkzeuge und Methoden der Digitalen Fabrik, der insbesondere auf der frühzeitigen, integrierten Produktionsplanung und Gestaltung der Fabrik liegt. Das Anliegen besteht vor allem in der frühen Absicherung des Zusammenspiels von Produkt, Prozess und Ressource, aber auch in der Beschleunigung der Produktionsentwicklung sowie der Überprüfung und Optimierung der realen Produktion durch digitale Werkzeuge und Modelle [Vdi06].

Nach diesem Begriffsverständnis schließt der Terminus Digitale Fabrik explizit andere in der Literatur oftmals als Synonyme verwendete Begriffe wie Virtual Engineering mit ein.

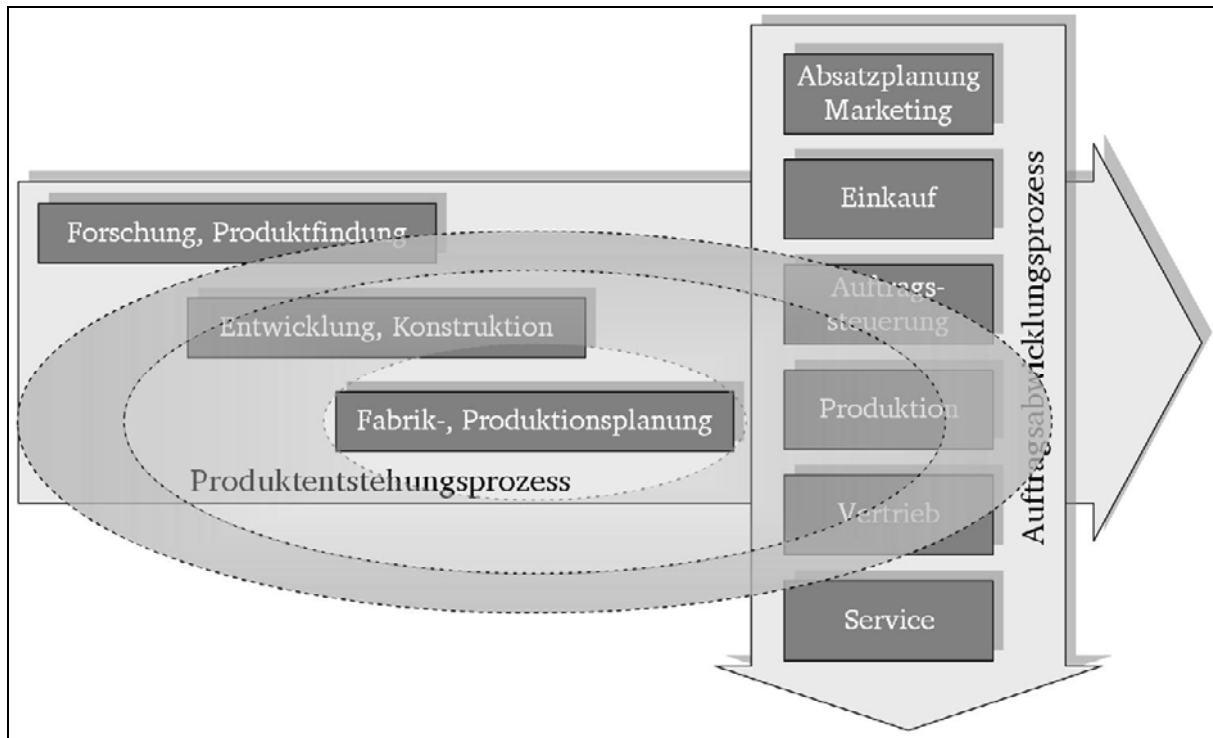


Abbildung 3.3.10: Fokus der Digitalen Fabrik [Vdi06]

Unter Virtual Engineering werden dabei „alle die Technologien der Informations-, Kommunikations- und Visualisierungstechnik zusammengefasst, die den Produktentstehungsprozess optimieren und beschleunigen helfen“ [Kre99].

Digitale Fabrik in der Automobilindustrie

In der Automobilindustrie sind insbesondere in den Bereichen Karosserierohbau, Logistik- und Montageplanung bereits flächendeckend Softwarelösungen der Digitalen Fabrik im Einsatz. **Abbildung 3.3.11** zeigt beispielsweise den Ansatz bei der DaimlerChrysler AG. Digitale Fabrik bedeutet in diesem Kontext die durchgängige, integrierte sowie digitale Planung und Absicherung von der Produktentwicklung über die Produktionsplanung bis hin zur Produktion. Hierdurch soll der eigentliche Planungsprozess, insbesondere das Verfeinern und Bewerten mehrerer alternativer Varianten, unterstützt werden [Hal03].

Durch die Verankerung übergreifender Standards und Produktionsprinzipien in allen Planungen soll der Mercedes-Benz Produktionssystem-Gedanke verwirklicht werden.

Mit Hilfe der Datenintegration wird versucht, alle geometrischen und alphanumerischen Daten, die über den gesamten Wertschöpfungsprozess anfallen, zentral zu verwalten. Ergebnis ist schließlich eine redundanzfreie, vollständige und aktuelle Datenbasis für alle Planungstätigkeiten.

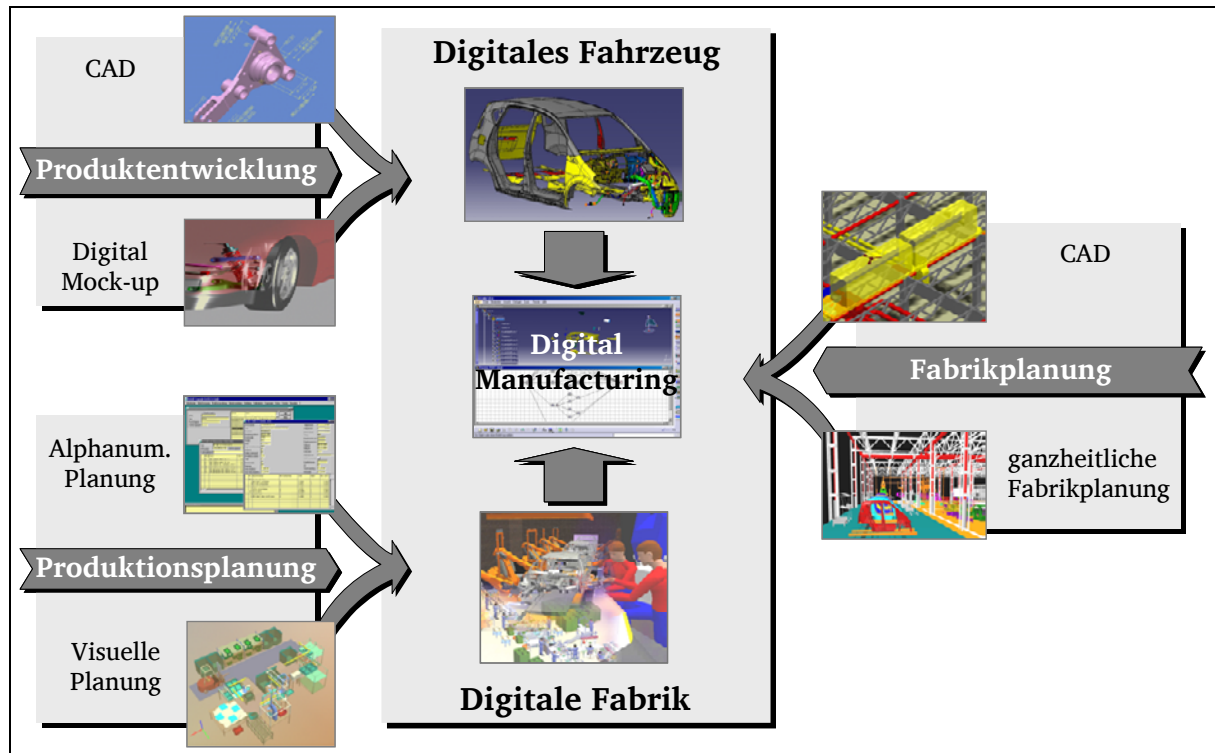


Abbildung 3.3.11: Integration von Produkt, Prozess und Ressource [Hal03]

Schließlich werden eindeutige Arbeitsabläufe – Workflows – definiert, um sicherzustellen, dass die Daten auch zum richtigen Zeitpunkt, im richtigen Detaillierungsgrad und am richtigen Ort zur Verfügung stehen. [Ren02b]

Digitale Fabrik in der Prozesskette Blech

Im Rahmen der Prozesskette Blech befinden sich bereits einzelne Werkzeuge der Digitalen Fabrik im Einsatz. Ansatzpunkte sind hier insbesondere die frühe, umformtechnische Machbarkeitsuntersuchung der zu beplanenden Bauteile, die simulationsgestützte Modellierung von Umformgeometrien, die virtuelle Werkzeugabnahme und die Unterstützung des Anlaufes [Roll03]. **Abbildung 3.3.12** zeigt die Ansatzpunkte der Digitalen Fabrik für die Prozesskette Blechbauteile. Im Mittelpunkt des Konzeptes steht das Process Reengineering: Standort- und funktionsübergreifend soll der gesamte Neutypplanungsprozess von der Konzeption über die Machbarkeitsbewertung bis hin zur Serienmethode sowie die entsprechenden Planungsprozesse in

Werkzeugaufbau und Presswerk betrachtet werden. Ansatzpunkte der Digitalen Fabrik sind in der frühen Phase die Absicherung des Fertigungskonzeptes, die Integration aller planungsrelevanten Daten in einer Datenbank sowie die Umformsimulation. Im späteren Prozessverlauf setzen sich die Handlungsfelder aus der Unterstützung der Werkzeugkonstruktion und der Absicherung des Fertigungsablaufs zusammen [Kam05].

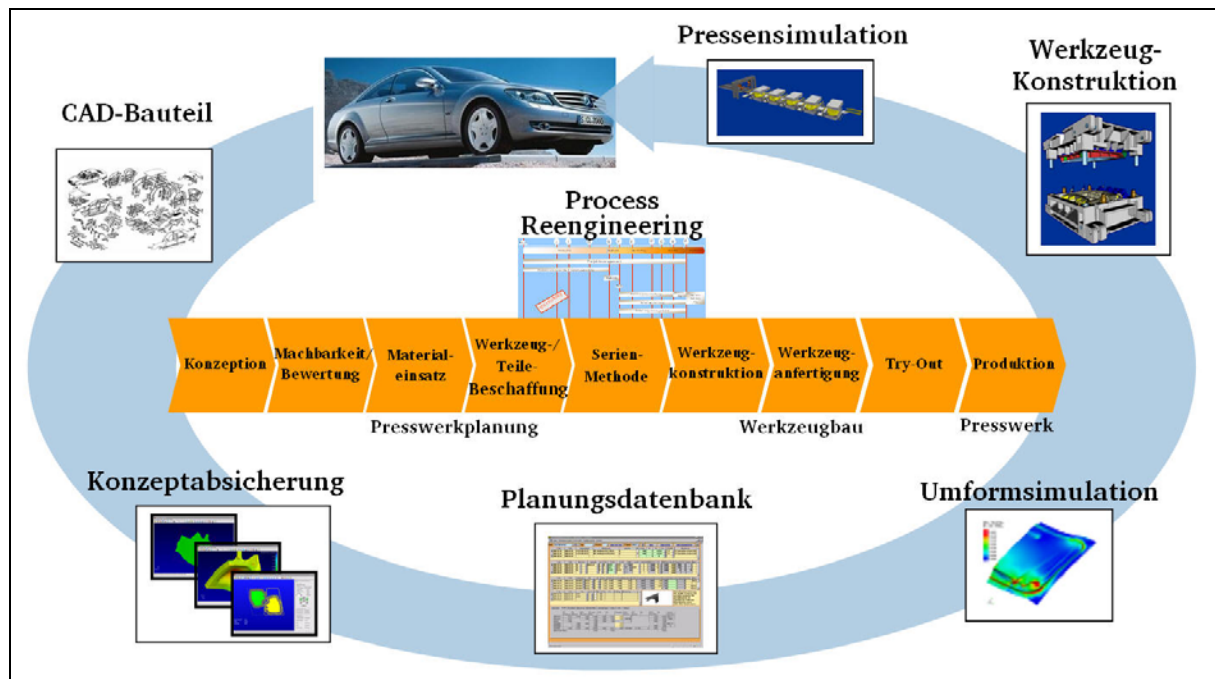


Abbildung 3.3.12: Ansatzpunkte der Digitalen Fabrik [Kam05]

Da über den gesamten Planungsprozess hinweg sehr unterschiedliche Ziele mit der Digitalen Fabrik verfolgt werden, sind auch unterschiedliche Werkzeuge im Einsatz. Die Software-Landschaft im Rahmen der Presswerkplanung ist geprägt von vielen Software-Inseln. In **Abbildung 3.3.13** ist eine Auswahl verwendeter Softwarewerkzeuge und Methoden über die gesamte Prozesskette Blechbauteile, von der Presswerkplanung über den Werkzeugaufbau bis hin zum Presswerk, dargestellt.

Nimmt man allein die Anzahl an Software-Werkzeugen als Indikator für die digitale Durchdringung, so fällt auf, dass diese insbesondere im Sektor Werkzeugaufbau, also in den letzten drei Jahren des Neutypplanungsprojektes, sehr hoch ist.

In den ersten vier Jahren eines Neutypplanungsprojektes werden verschiedene FEM-Simulationssysteme eingesetzt. Für schnelle Aussagen bei niedriger geforderter Genauigkeit, insbesondere zur Materialabwicklung, sind dies One-Step-FEM-Tools, für detailliertere Machbarkeitsanalysen inkrementelle FEM-Solver. Es werden damit

zwar dieselben Werkzeuge eingesetzt wie später für die Wirkflächensimulation im Rahmen der Werkzeugerstellung, das Ziel ist jedoch ein anderes. So liegt der Fokus nicht darauf, eine gute Wirkfläche zu konstruieren und abzusichern, sondern auf einer möglichst schnellen Aussage zur prinzipiellen Machbarkeit. Die Wirkflächen werden bei kritischen Stellen am Bauteil sehr genau aufgebaut, zumeist jedoch liegt das Hauptaugenmerk auf einer schnellen Erstellung von Stempel, Blechhalter und Matrize. Die Dokumentation der Planungsstände erfolgt in der – häufig selbst entwickelten – alphanumerischen, relationalen Datenbank. In der Software-Landschaft zur geometrischen Planung und Absicherung ist die Dokumentationsdatenbank isoliert und muss manuell gepflegt werden. Dennoch ist sie unabdingbar, da zum Beispiel für Auswertungen zu den Teilekosten eine derartige Basis vorhanden sein muss.

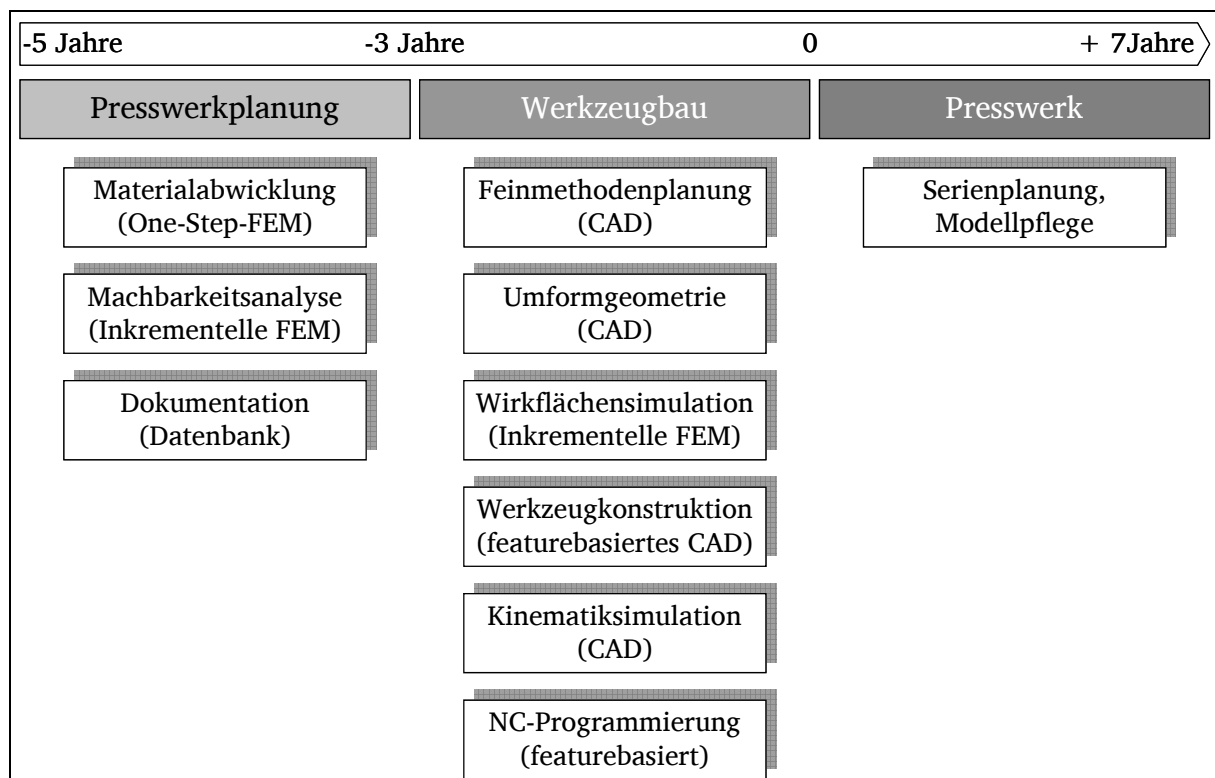


Abbildung 3.3.13: Softwareinseln innerhalb der Prozesskette Blechbauteile

Die digitale Durchgängigkeit innerhalb der Prozesse der Werkzeugerstellung ist deutlich stärker ausgeprägt. Auf Basis von Features wurden sowohl die Werkzeugkonstruktion aufgebaut als auch die NC-Programme erstellt. Als System setzt die Automobilindustrie durchgängig auf Dassault Catia V5. Die einzige Ausnahme stellt die inkrementelle FEM-Simulation dar. Zur Absicherung der Wirkflächen, insbeson-

dere in der Ziehstufe, werden in Systemen, wie beispielsweise AutoForm Incremental oder LS Dyna, Simulationen inklusive Rückfederungskompensation durchgeführt.

Ein weiteres Thema ist die Kinematiksimulation. Hier geht der Trend ebenfalls zur Nutzung von Catia V5-Standardfunktionalitäten und weg von proprietärer Spezialsoftware, wie sie beispielsweise von der Firma UGS angeboten wird.

Im Presswerk selbst sind vor allem die Prozessschritte der Modellpflege interessant. Bei der Modellpflege eines Fahrzeugstyps werden hauptsächlich die Beplankungsteile im Blechumfeld geändert. Hierfür werden teilweise neue Werkzeuge beschafft, teilweise die bestehenden überarbeitet. Grundsätzlich kann eine Modellpflege wie ein kleines Neutypplanungsprojekt mit entsprechend wenigen Teilen betrachtet werden. Es kommen die zuvor erwähnten Softwaresysteme in geringerem Umfang zum Einsatz.

3.4 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 3 wurden verschiedene Methoden und Werkzeuge der Produktionsplanung vorgestellt. Unter den allgemeinen Methoden wurden das Business Process Reengineering, das Wissensmanagement, das Qualitätsmanagement und das Change Management diskutiert. Bei den speziellen Methoden der Produktionsplanung fanden neben dem Computer Integrated Manufacturing, den featurebasierten Prozessketten und dem Product Lifecycle Management vor allem die Werkzeuge der Digitalen Fabrik Beachtung.

4 Motivation

Nachdem in Kapitel 3 verschiedene Methoden zur Produktionsplanung vorgestellt wurden, sollen diese in Kapitel 4 bezüglich des Einsatzes innerhalb der Planungsprozesskette Blechbauteile bewertet werden. Hierzu erfolgt

- in Abschnitt 4.1 die Erklärung der verwendeten Methodik zur Bewertung der Planungsmethoden,
- in Abschnitt 4.2 die eigentliche Bewertung,
- in Abschnitt 4.3 die Herausarbeitung der Notwendigkeit für eine neue Planungsmethodik und
- in Abschnitt 4.4 eine Zusammenfassung.

4.1 Methodik zur Bewertung der Planungsmethoden

Für die Bewertung der gezeigten Planungsmethoden wird auf die Herausforderungen der Automobilindustrie im Umfeld der Prozesskette Blechbauteile zurückgegriffen, die in Kapitel 2.4 diskutiert wurde. In Abbildung 2.4.1 ist das Dreieck aus Planungszeit, Planungskosten und Planungsergebnisqualität. Herausforderung ist es, einen absoluten Niveausprung zu erreichen, das heißt eine Erhöhung der Planungsergebnisqualität bei gleichzeitig sinkenden Kosten und einer Verringerung der Planungszeit. Die Fähigkeit der Methode zur Reduzierung der Planungskosten, der Planungszeit sowie zur Verbesserung der Qualität sind daher die drei wichtigsten Bewertungskriterien.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Implementierungsfähigkeit der Methode in den Planungsprozess. Die Methode muss nicht nur experimentell in einem Prototypstadium zu entsprechenden Ergebnissen führen, sondern auch im Planungsalltag zu Verbesserungen führen.

Zuletzt sind als Kriterien die Datendurchgängigkeit und die Standardisierung zu nennen. Diese beiden Punkte stellen eigentlich Unterkriterien dar. Datendurchgängigkeit bedeutet dabei die zentrale Verwaltung von geometrischen und alphanumeri-

schen Daten, die über den Wertschöpfungsprozess anfallen sowie die durchgängige Nutzung über den gesamten Prozess hinweg. Ergebnis ist eine redundanzfreie Datenbasis für alle Planungstätigkeiten. Zusammen mit der Durchgängigkeit der Daten ist es durch die Verankerung übergreifender Standards in der Planung zudem möglich, eine Automatisierung von Planungsleistungen zu erreichen. Beide Bewertungskriterien sind deshalb von sehr hoher Bedeutung.

Die Bewertungskriterien setzen sich also aus der Fähigkeit der betreffenden Methode zusammen,

- eine Reduzierung von Planungskosten,
- eine Reduzierung von Planungszeiten sowie
- eine Erhöhung der Planungsergebnisqualität zu erreichen. Zudem sind
- die Implementierungsfähigkeit im Planungsprozess sowie
- die Datendurchgängigkeit und
- die Standardisierung weitere Kriterien.

4.2 Bewertung

Anhand dieser Bewertungskriterien erfolgt die Evaluierung der Planungsmethoden. Zunächst soll hierfür jede einzelne Methode vor diesem Hintergrund kritisch gewürdigt werden. Im Anschluss erfolgt die Zusammenfassung in Form einer Matrix, in der die einzelnen Methoden mit den Bewertungskriterien zusammengeführt sind.

Business Process Reengineering

Die Methode des Business Process Reengineering zeichnet sich dadurch aus, dass sie die Art, in der die Planung erfolgt, verändert. Dabei hat die Methodik den Anspruch, den geforderten Innovationssprung in den Kategorien Kosten, Zeit und Ergebnisqualität zu erreichen. Die Methode, die funktionale Abläufe durch übergreifende Prozesse ersetzt, ist im Presswerkplanungssektor zwar teilweise implementiert, sie wird jedoch oftmals nicht ganzheitlich gelebt. So stehen die funktionalen Abgrenzungen in Presswerk, Werkzeugbau und Planung dem Ziel der Methodik entgegen.

Dennoch werden durch den Einsatz der Methode die Planungsprozesse, jedoch nicht Planungsergebnisse standardisiert.

Wissensmanagement

Im Gegensatz dazu strebt das Wissensmanagement vor allem eine höhere Ergebnisqualität durch das Planen und Steuern der Wissensprozesse an. Zeitgewinne und Kostenvorteile in der Planung sind eher sekundär. Zwar werden im Umfeld der Presswerkplanung einzelne Bausteine des Wissensmanagements, wie beispielsweise die Qualitätszirkel, eingesetzt. Von einem ganzheitlichen, integrierten Management von Wissen sind die Automobilhersteller jedoch weit entfernt. Dennoch besteht das Potenzial durch die Definition von Best Practices eine Standardisierung nicht nur der Planungsprozesse sondern vor allem der Planungsergebnisse zu schaffen.

Qualitätsmanagement

Analog zum Wissensmanagement besteht das Ziel eines Einsatzes der Methoden des Qualitätsmanagement in einer Steigerung der Qualität der Planungsergebnisse. Auch hier geht es nicht primär um eine schnellere und billigere Planung. Einzelne Methoden des Qualitätsmanagements, wie beispielsweise der Kontinuierliche Verbesserungsprozess, finden auch heute schon Einsatz. Von einer Integration in einer ganzheitlichen Methodik für die Presswerkplanung kann jedoch nicht gesprochen werden. Zudem erfolgt durch einen Einsatz der Methoden des Qualitätsmanagement zwar eine Standardisierung der Planungsprozesse, aber nicht der Planungsergebnisse.

Change Management

Der Sinn eines Einsatzes von Change Management, entweder als flankierende Maßnahme oder aus Erhaltungsgründen, ist es einen Innovationsprung in den Dimensionen Zeit, Kosten und Ergebnisqualität durch eine Veränderung traditioneller Arbeitsweisen zu realisieren. Der Einsatz des Change Managements ist dabei alles andere als trivial, da mit vielen Risiken in der Umsetzung zu rechnen ist. Insbesondere das Top-Management muss integriert sein und sich unumschränkt für das Change Management einsetzen.

Computer Integrated Management

Für die Neutypplanung im Gewerk Presswerk sind die Werkzeuge und Methoden des Computer Integrated Manufacturing wenig geeignet. Zwar wird durch diese Systeme im Werkzeugherstellungsprozess sowohl eine hohe Durchgängigkeit im Prozess von Konstruktion bis Fertigung erreicht als auch die Standardisierung vorangetrieben. Im Planungsprozess selbst findet die Methode keinen Einsatz. Der Grund hierfür ist die Serienfertigung beim Abpressen der Bauteile. Die Werkzeuge des Computer Integrated Manufacturing, insbesondere im Umfeld der CAx-Systeme, sind jedoch vor allem für die Einzelanfertigung und die spanende Fertigung ausgelegt.

Featurebasierte Prozessketten

Die Featurebasierten Prozessketten könnten ganzheitlich betrachtet den Innovationsprung für eine kostengünstigere, schnellere und von der Ergebnisqualität her bessere Planung schaffen. Momentan sind die meisten featurebasierten Lösungen in der Automobilindustrie jedoch vor allem in der Teile- und der Werkzeugkonstruktion angesiedelt. Dabei wird hauptsächlich die featurebasierte Modellierung eingesetzt. Vereinzelt gibt es erste Ansätze, vor allem im Rahmen der Presswerkzeuganfertigung eine Durchgängigkeit über den Prozess, beispielsweise im Sinne einer featurebasierten, automatisierten NC-Programmierung, zu erreichen. Im Umfeld der Presswerkplanung gibt es jedoch keine Planungsmethoden, die Featuretechnologie in den Gesamtprozess integrieren. Eine Umsetzung in den Planungsprozess wird sich als sehr schwierig erweisen. Der Grund hierfür ist das notwendige, radikale Umdenken in den Planungsprozessen, weg von reiner Geometrie und hin zu Funktionen, was mit einer fundamentalen Veränderung der Arbeitsweise verbunden ist. Dennoch zeichnet sich die Featuretechnologie vor allem durch die Nutzung einheitlicher Daten über den gesamten Prozess aus. Zudem kann durch die Definition durchgängiger Features für Methode, Konstruktion und Fertigung ein hoher Standardisierungsgrad erreicht werden.

Product Lifecycle Management

Die Methode des Product Lifecycle Managements reduziert in erster Linie nicht die Planungskosten. Vielmehr ermöglicht es PLM, durch definierte Workflows über Unternehmensgrenzen hinweg eine Datenintegration über den gesamten Prozess hinweg zu realisieren. Da alle Rollen in einen Workflow eingebunden sind und nicht

selbständig nach den jeweils richtigen Daten suchen müssen, ergibt sich sowohl eine schnellere Planung als auch eine höhere Planungsergebnisqualität. Zudem wird durch die enge Einbindung in den Planungsworkflow der Prozess standardisiert. Im Rahmen der Presswerkplanung werden in der Automobilindustrie PDM-Werkzeuge eingesetzt, die von der Fahrzeugentwicklung mit Bauteilgeometrien und zusätzlichen Informationen gefüllt werden und über entsprechende Mechanismen zur Versionierung verfügen.

Digitale Fabrik

Die Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik fokussieren sich, ähnlich wie das Product Lifecycle Management nicht primär auf eine Reduzierung der Planungskosten. Vielmehr stehen als Ziele die Beschleunigung der Planung und vor allem die Erhöhung der Planungsergebnisqualität durch entsprechende Technologien zur Absicherung im Mittelpunkt. Im Presswerkplanungsprozess sind vor allem in der frühen Phase der produktgerechten Produktgestaltung nur vereinzelt Werkzeuge, wie beispielsweise zur FEM-Umformsimulation, im Einsatz. Da es sich dabei um viele Softwareinseln handelt, die nicht oder nur rudimentär miteinander vernetzt sind, ist eine Datendurchgängigkeit im Feld der Presswerkplanung nicht gegeben. So stellt beispielsweise die FEM-Simulation im Sinne einer Machbarkeitsabsicherung eine Sackgasse im Prozess dar. Da die Durchgängigkeit nicht gegeben ist, existieren auch sehr wenig Standards. So kann die planende Rolle für die Umformsimulation beispielsweise die unterschiedlichsten Fertigungskonzepte als Grundlage wählen.

Zusammenfassung der Bewertung

Für die Zusammenfassung der Bewertung werden die vorgestellten Methoden mit den Bewertungskriterien in einer Matrix zusammengeführt. In den jeweiligen Schnittfeldern erfolgt die Bewertung der Planungsmethode nach dem entsprechenden Kriterium. Dabei reicht die Skala von das Kriterium ist voll erfüllt, teilweise erfüllt über unentschieden bis hin zu trifft teilweise nicht zu und trifft nicht zu. In **Abbildung 4.2.1** ist die ausgefüllte Bewertungsmatrix dargestellt.

In der Bewertungsmatrix zeigt sich, dass keine Methode alleine in der Lage ist, die Herausforderungen, die an die Presswerkplanung in der Automobilindustrie gestellt sind, zu 100 Prozent zu erreichen. Dennoch zeichnen sich die Stärken einzelner

Methoden, vor allem der featurebasierten Prozessketten, der Digitalen Fabrik und des Business Process Reengineering deutlich ab.

So ist vor allem die Methode der featurebasierten Prozessketten dazu in der Lage, Planungskosten und -zeit zu reduzieren, indem die Datendurchgängigkeit und die Standardisierung als wichtige Eckpfeiler erkannt wurden.

Im Rahmen der Digitalen Fabrik sind bereits einzelne Teillösungen im Einsatz. Insbesondere durch entsprechende Absicherungsmethoden kann eine höhere Planungsergebnisqualität erreicht werden.

		++ trifft voll zu	+ trifft teilweise zu	o unentschieden	- trifft teilweise nicht zu	-- trifft nicht zu					
		Reduzierung Planungs- kosten	Reduzierung Planungs- zeiten	Erhöhung Planungs- ergebnis- qualität	Implemen- tierung im Planungs- prozess	Standar- disierung	Daten- durch- gängigkeit				
Allgemeine Methoden	Business Process Reengineering	+	+	+	+	+	o				
	Wissensmanagement	o	o	++	o	++	o				
	Qualitätsmanagement	o	o	++	+	+	o				
	Changemanagement	+	+	+	-	o	o				
Spezielle Methoden	Computer Integrated Manufacturing	-	-	-	--	+	+				
	Featurebasierte Prozessketten	++	++	+	-	++	++				
	Product Lifecycle Management	o	+	+	++	+	++				
	Digitale Fabrik	o	o	++	+	--	--				

Abbildung 4.2.1: Bewertung der Planungsmethoden

Die Methode des Business Process Reengineering steht für die Realisierung eines Innovations Sprungs. Nur durch die konsequente Verbindung der Prozessschritte über Abteilungs- und Funktionsgrenzen hinweg, kann eine Steigerung der Planungsergebnisqualität bei gleichzeitiger Senkung der Planungszeit und der Planungskosten erreicht werden.

4.3 Notwendigkeit für eine neue Planungsmethodik

Aus der vorgestellten Bewertung lässt sich erkennen, dass eine Methode für sich allein die Herausforderungen, vor denen die Automobilindustrie vor allem zukünftig steht, nicht meistern kann. Um die individuellen Schwächen der Methoden zu kompensieren und gleichzeitig die Stärken zu realisieren, müssen hierzu einzelne Bausteine der Methoden der featurebasierten Prozessketten, des Business Process Reengineering und der Digitalen Fabrik zu einer neuen Planungsmethodik kombiniert werden.

Insbesondere in der frühen Phase des Planungs- und Entwicklungsprozesses fehlt im gegenwärtigen Vorgehen eine Methode, die es durchgängig über Funktionsgrenzen hinweg erlaubt, sowohl prinzipielle Machbarkeit abzusichern als auch resultierende Kosten zu ermitteln. Im folgenden Kapitel 5 wird die integrierte Methodik zur Presswerkplanung IMPRESS vorgestellt, die genau diese Lücke im Planungsprozess schließt. Innovative Informationstechnologie soll dabei als Befähiger neuer Prozesse wirken.

4.4 Zusammenfassung

In Kapitel 4 wurden die in Abschnitt 3 vorgestellten, allgemeinen und speziellen Methoden der Produktionsplanung bewertet. Zunächst wurden Methodik und Ablauf der Bewertung definiert. Anschließend erfolgten die Erläuterung der eigentlichen Bewertungsmatrix sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse. Hier wurde festgestellt, dass die Herausforderungen, vor denen die Automobilindustrie steht, nicht von einer der vorgestellten Methoden alleine, sondern nur von einer neuen Planungsmethodik, die mehrere Methodenbausteine kombiniert, gemeistert werden können.

5 Integrierte Methodik zur Presswerkneutypplanung

In den vorherigen Kapiteln wurden verschiedene Möglichkeiten zur Unterstützung einer Neutypplanung im Bereich Presswerk diskutiert und bewertet. In Abschnitt 4 wurde unter anderem eine Bewertungsmatrix aufgestellt und die Notwendigkeit für eine neue Methodik der Presswerkplanung insbesondere für die frühe Phase des Planungs- und Entwicklungsprozesses aufgezeigt. Die neue, integrierte Methodik zur Presswerk-Neutypplanung IMPRESS wird in den folgenden Kapiteln dargelegt, wobei

- in Abschnitt 5.1 die Ziele der neuen Methodik,
- in Abschnitt 5.2 der Grundaufbau und die notwendigen Definitionen,
- in Abschnitt 5.3 die methodischen Schritte und Bausteine,
- in Abschnitt 5.4 die Ergebnisse und Potenziale
- in Abschnitt 5.5 die Integration in den Planungsworkflow diskutiert werden sowie
- in Abschnitt 5.6 eine Zusammenfassung der Erkenntnisse gegeben wird.

5.1 Ziele der neuen Methodik

Die Planungsmethodik IMPRESS verfolgt einen integrativen, durchgängigen Ansatz zur Presswerkplanung mit folgenden Kernzielen:

Ziel 5.1.1: Entwicklung und Integration einer durchgängig digitalen Planungsmethodik im Hinblick auf die Prozesse der produktionsgerechten Produktgestaltung (PPG)

Das erste Ziel der integrierten Planungsmethodik ist die digitale Absicherung und Unterstützung des Presswerkplanungsprozesses in der frühen Planungsphase. In dieser frühen Phase – von etwa fünf Jahre bis etwa drei Jahre vor dem Start der zu beplanenden Baureihe – liegt das Hauptaugenmerk der Methodik auf der produktionsgerechten Produktgestaltung. **Abbildung 5.1.1** zeigt den Grund für ein derartiges Ziel. Über den gesamten Planungsprozess entstehen die investiven Teilekosten erst in einer sehr späten Phase, nämlich im Rahmen der Werkzeug- und Teilebeschaffung.

Zu den frühen Zeitpunkten der Produktgestaltung und der Methodenerstellung sind diese Kosten maximal beeinflussbar, da weder das Fertigungskonzept noch die Bauteilgeometrie festgelegt ist.

Um dementsprechend eine wirtschaftlich und technisch optimale Gestaltung der Bauteile unter Presswerkgesichtspunkten zu gewährleisten, darf das Augenmerk in dieser Phase nicht nur auf einer prinzipiellen Machbarkeitsuntersuchung liegen. Vielmehr müssen auch die Teilekosten bereits mit in Betracht gezogen werden. Diese Integration von technischer Machbarkeit und resultierenden Kosten ist deshalb das Kernstück der Planungsmethodik.

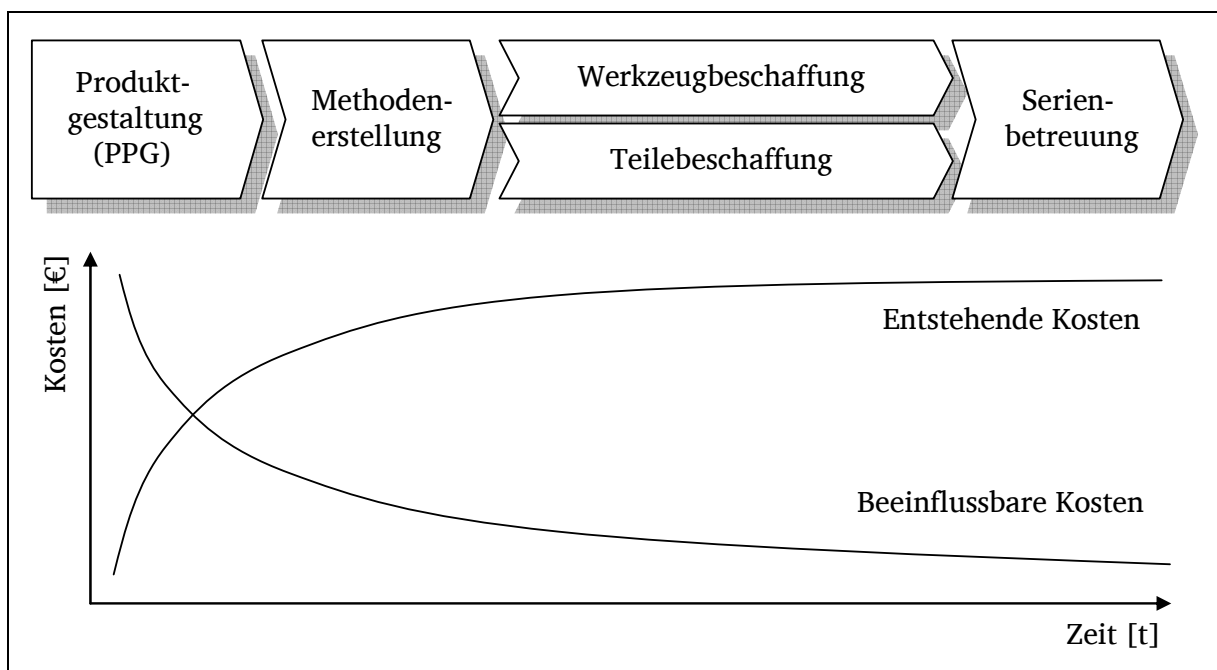


Abbildung 5.1.1: Kostenbeeinflussung und -entstehung

Ziel 5.1.2: Weitgehende und tief greifende Standardisierung der Fertigungs- und Werkzeugkonzepte durch ein Front-Loading des Prozesses

Ein weiteres wichtiges Ziel ist die Standardisierung der Fertigungskonzepte im Allgemeinen und der Werkzeugkonzepte im Speziellen. Prinzipiell können ähnliche Bauteilgeometrien durch unterschiedliche Fertigungsschritte realisiert werden. Aus diesen unterschiedlichen Fertigungsschritten resultieren jedoch grundsätzlich verschiedene Werkzeugkonzepte und Großwerkzeuge.

Bisher musste dieser Spielraum auch genutzt werden, da beispielsweise einzelne Toleranzen oder Radien am Bauteil dies erforderten. Durch ein Front-Loading des

frühen Planungsprozesses mit vorgegebenen Fertigungsmethodenstandards kann dieser Spielraum eingeschränkt und die Einhaltung der Standards gegenüber der Fahrzeugentwicklung durchgesetzt werden.

Ziel 5.1.3: Integration aller relevanten, geometrischen und alphanumerischen Daten in einem Datenmodell.

Ein wichtiges Ziel ist zudem die Integration aller relevanten Daten in ein Datenmodell. Als Eingangssystem für die Bauteildaten steht dabei die Software CATIA V5 von Dassault Systemes. In den Strukturen des Catia-Datenmodells aus der Fahrzeugentwicklung sind nicht mehr nur geometrische Informationen enthalten. Vielmehr gibt es weitere Informationen, wie beispielsweise den Änderungsstand, Toleranzen oder Informationen zum Bearbeiter des Bauteils, die ebenso in ein für die Presswerkplanung integriertes Datenmodell einfließen müssen.

Ein Vorteil der Integration aller notwendigen Daten in einem Modell ist vor allem das Abschaffen redundanter und damit oftmals widersprüchlicher Datenbestände. Das integrierte Datenmodell soll als Drehscheibe für die Datenversorgung verschiedener Anwendergruppen dienen. So kann ein relational aufgebautes Dokumentationssystem für schnelle Auswertungen und zur Reportgenerierung mit alphanumerischen Daten versorgt werden.

Ziel 5.1.4: Vollständige Automatisierung von routineartigen Planungsteilschritten, beziehungsweise automatisierte Ableitung von 80:20-Lösungen für das Fertigungskonzept

Ein weiteres Anliegen der neuen Planungsmethodik IMPRESS ist die Automatisierung von Planungsteilschritten. Auf Grund von immer größer werdenden Zwängen zur Produktivitätserhöhung der Planungsabteilungen in der Automobilindustrie ist dies ein der wichtiges Ziel der Methodik: Es müssen immer mehr Bauteile mit komplexen Anforderungen an den Fertigungsprozess und die zu fertigende Geometrie innerhalb der immer kürzer werdenden Planungsphase produktionstechnisch beplant und abgesichert werden.

Der Ausgangspunkt einer weitgehenden Automatisierung von Routinetätigkeiten und das automatische Vorschlagen von 80:20-Lösungen für die Planung ist die im Ziel 5.1.2 beschriebene Standardisierung. Sind die Fertigungsmethodenstandards nicht nur qualitativ definiert, sondern stehen mit bestimmten Funktionen am Bauteil in

Verbindung, so kann geeignete Software bereits einen schnellen, auf Standards basierenden Fertigungskonzeptvorschlag generieren.

Ziel 5.1.5: *Integration der digitalen Planungsmethodik in den existierenden Planungsworkflow mit Berücksichtigung planungsorganisationsexterner Interaktionen*

Das letzte Ziel steht für die Integration der digitalen Planungsmethodik in den bestehenden Workflow. Hier wird vor allem dem Umstand Rechnung getragen, dass in der Automobilindustrie auch für die produktionsgerechte Produktgestaltung von Bauteilen etablierte Prozesse mit Hinblick auf Presswerkbelange existieren.

Zu beachten ist vor allem, dass die Planung nicht losgelöst für sich erfolgt. Vielmehr ist der gesamte Planungsprozess durch häufige Interaktionen mit anderen Institutionen, wie beispielsweise der Fahrzeugentwicklung, dem Fahrzeugprojekt oder dem Karosserierohbau, geprägt. Diese Interaktionen mit in die Konzeption einzubeziehen, sind wichtig für einen gezielten Einsatz der Methodik.

5.2 Grundaufbau und Definitionen

Die Teilbereiche, die von der Methodik IMPRESS abgedeckt werden, zeigt **Abbildung 5.2.1**. Ausgehend von einem durch die Fahrzeugentwicklung definierten Bauteil wird die Prozesskette gestartet. Als erster Baustein steht die Machbarkeit.

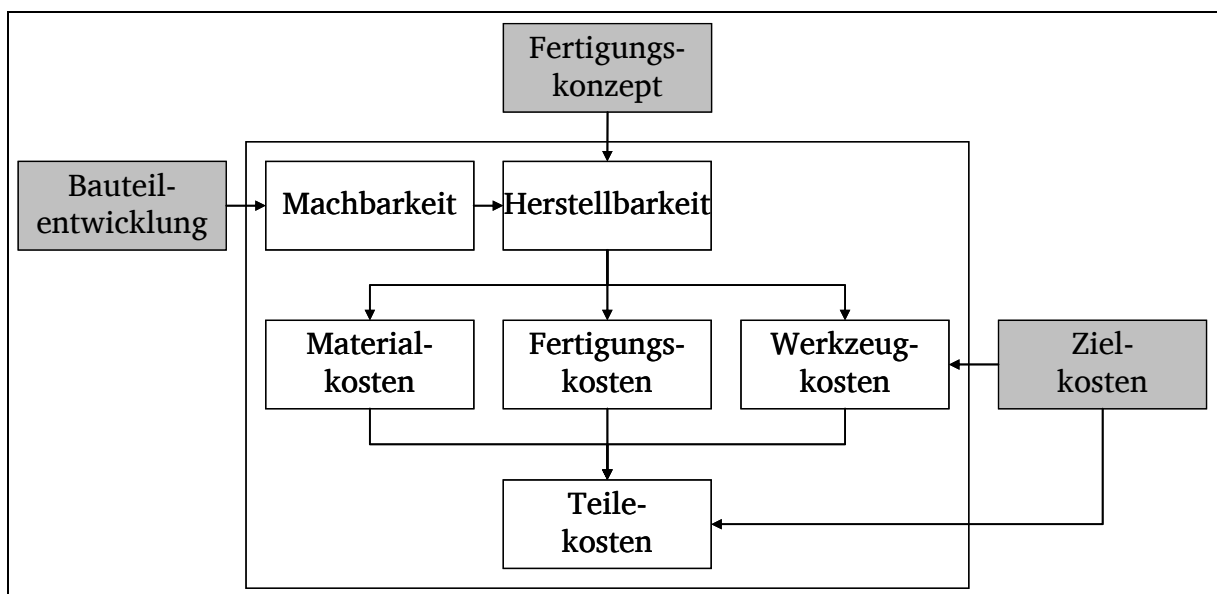


Abbildung 5.2.1: Grundaufbau der Planungsmethodik Digitale Fabrik

Definition 5.2.1: Bauteilmachbarkeit im Rahmen der Presswerkplanung subsumiert die grundsätzliche, umformtechnische Analyse des Ziehprozesses, ohne einen detaillierten Fertigungsprozess im Allgemeinen oder ein detailliertes Werkzeugkonzept von Folgestufen im Speziellen explizit zu berücksichtigen.

Definition 5.2.1 legt die Bedeutung des Begriffs Machbarkeit fest, wie er im Folgenden verwendet wird. Ziel des ersten Schrittes ist es damit, schon in einer frühen Phase des Planungsprozesses Aussagen über die prinzipielle Machbarkeit zu treffen. Der erste Baustein der Methodik wird in Kapitel 5.3.1 diskutiert.

Definition 5.2.2: Die Herstellbarkeit zieht zur Bauteilbewertung ein detailliert beplantes Fertigungskonzept hinzu. Das Augenmerk liegt dabei grundsätzlich auf der Betrachtung aller relevanten Parameter des Fertigungskonzeptes, besondere Wichtigkeit besitzt jedoch das Werkzeugkonzept.

Im Anschluss muss die Herstellbarkeit analysiert werden. Dabei besteht der Unterschied zwischen Machbarkeit und Herstellbarkeit primär in der Tatsache, dass für die Herstellbarkeit zunächst ein detailliertes Fertigungskonzept inklusive mehrerer Szenarien geplant werden muss. Kapitel 4.3.2 stellt dar, wie für alle Variablen des Fertigungskonzeptes, beispielsweise Pressenwahl, Werkzeugkonzept oder Materialeinsatz, technisch optimale Werte gefunden werden.

Abbildung 5.2.2 zeigt in der Übersicht aus Kapitel 2.3.1 nochmals die Zusammensetzung der Kostenstrukturen in der Neutypplanung. Während die Aufwendungen für die Verwaltung und das Ressort Forschung & Entwicklung nicht durch das gewählte Fertigungskonzept beeinflusst werden, ist dies bei den Herstellkosten der Fall. Aufgegliedert in die Kostenblöcke Materialkosten, Fertigungskosten und Investitionsraten müssen alle drei Kostenarten detailliert und digital durchgängig vom Fertigungskonzept abgeleitet werden. Die Logistikkosten werden in der Planungsmethodik nicht in Betracht gezogen. Dies liegt vor allem an dem frühen Zeitpunkt, zu dem oftmals noch nicht klar ist, an welchem Standort der Rohbau für den zu beplanenden Fahrzeugtyp gefertigt wird.

Während Kapitel 5.3.3 auf die Teilekosten ohne Investitionsumlage eingeht, sollen in Kapitel 5.3.4 die Möglichkeiten zur Ermittlung der Investitionskosten – hier insbesondere die Werkzeugkosten – dargelegt werden.

In einem letzten Schritt der Methodik geht es in Kapitel 5.3.5 um den Abgleich der ermittelten Bauteilkosten mit den vorgegebenen Zielkosten. Im Sinne eines Design for Manufacturing sollen in einem Closed Loop-Prozess die Erkenntnisse aus der Produktionsplanung an die Bauteilentwicklung weitergegeben werden. Wichtig ist es vor allem, der Bauteilentwicklung verschiedene Szenarien aufzuzeigen. Zudem soll im Rahmen von Funktionsgesprächen mit den anderen Bereichen der Fahrzeugproduktion eine ganzheitlich optimale Lösung gefunden werden.

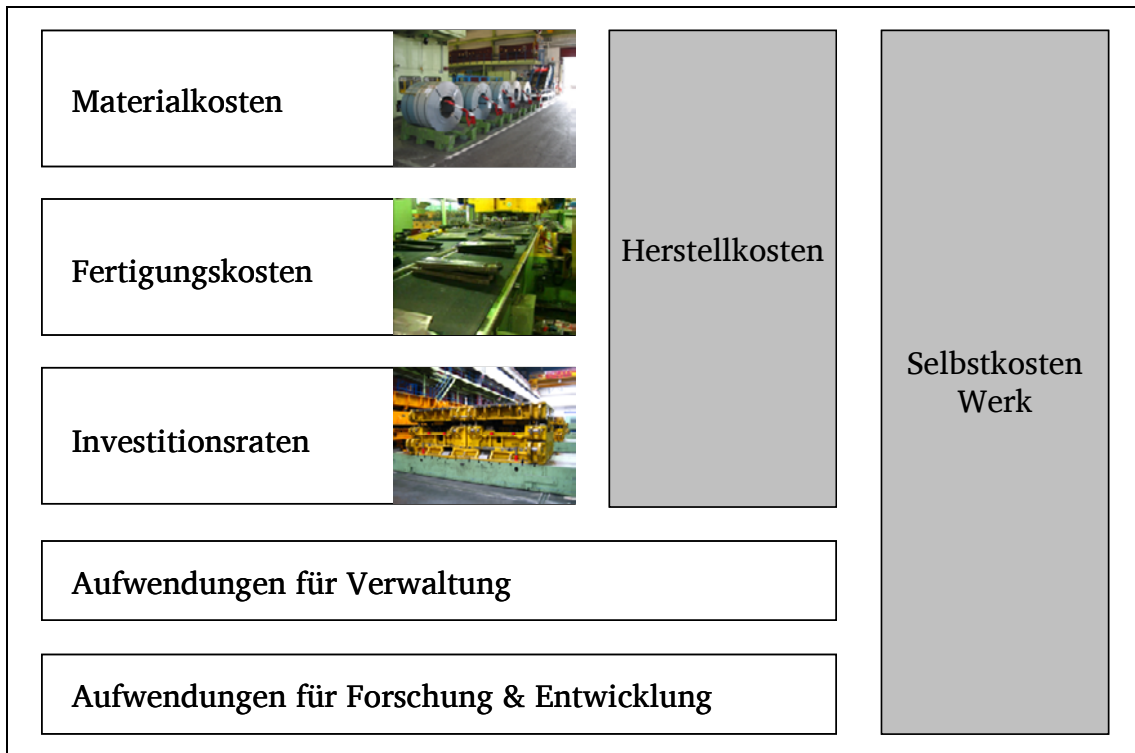


Abbildung 5.2.2: Generelle Kostenzusammensetzung in der Neutypplanung

Im folgenden Abschnitt wird nun auf die Ausgestaltung der neuen Methodik IMPRESS eingegangen. Dabei werden die fünf methodischen Hauptschritte nacheinander vorgestellt, wobei die Abbildung 5.2.1 als Leitfaden fungiert.

5.3 Methodische Schritte

5.3.1 Analyse und Integration der generellen Machbarkeit

Der erste Schritt der Planungsmethodik IMPRESS ist, wie in der **Abbildung 5.3.1** zu sehen, die Absicherung und Integration der prinzipiellen Machbarkeit. Ziel dieses ersten Schrittes ist es, innerhalb der produktionsgerechten Produktgestaltung eine schnelle Aussage über die Machbarkeit im Sinne einer umformtechnischen Analyse

des Ziehprozesses für das von der Bauteilentwicklung vorgeschlagene Bauteil zu treffen. Da moderne Ziehstufen zumeist als einfach wirkende Systeme aufgebaut sind, ist dieses Ziehverfahren auch der häufigste Fall. Für die folgenden Erläuterungen wird deshalb prinzipiell von einem einfach wirkenden Zug ausgegangen.

Ein weiteres wichtiges Ziel ist die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Bauteilkonstruktion, insbesondere für eine nicht gegebene, prinzipielle Machbarkeit. Dabei wird ein detailliertes Serienfertigungskonzept explizit nicht berücksichtigt, vielmehr gehen erste Annahmen für ein gewähltes Ziehverfahren mit ein. Die Absicherung der Machbarkeit erfolgt über FEM-Simulationssoftware oder – später im Prozess – über ein eigens angefertigtes Prototypwerkzeug.

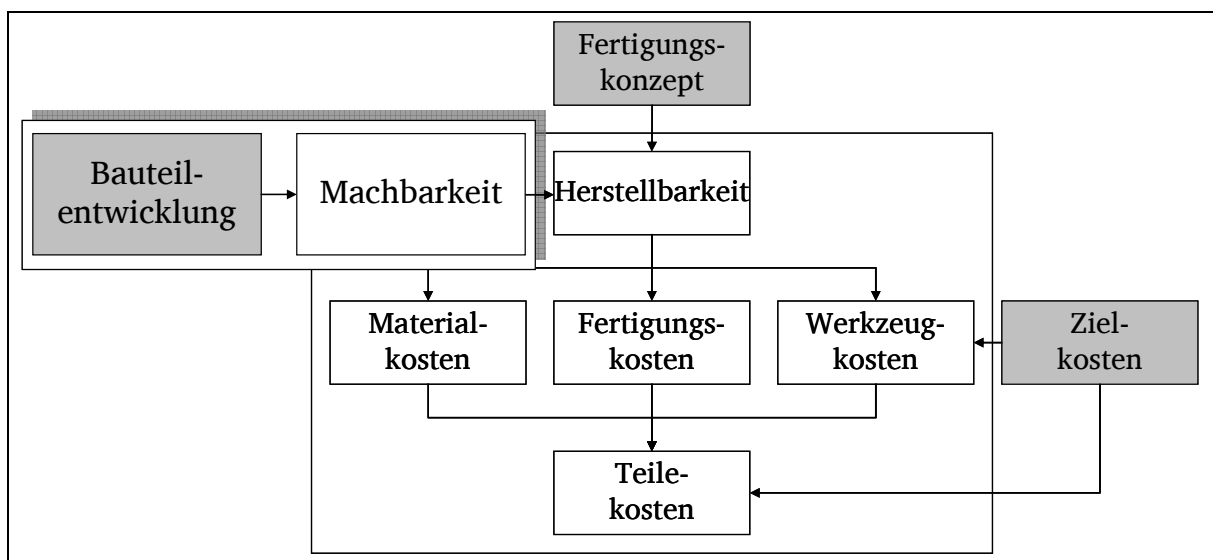


Abbildung 5.3.1: Erster Schritt der Methodik: Die Machbarkeitsanalyse

FEM-Simulationssoftware

Über die letzten Jahre hat sich die FEM-Simulationssoftware nicht nur im Bereich der Werkzeugwirkflächenauslegung für Neuwerkzeuge sondern auch innerhalb der produktionsgerechten Produktgestaltung für Machbarkeitsanalysen in der Automobilindustrie etabliert.

So ermöglicht das Anlegen eines Blechhalters über Profile oder Bauteilregionen sowie die Steuerung der Ankonstruktion und sonstiger Füllflächen über Profillinien eine hohe Produktivität. Innerhalb weniger Stunden kann der Methodenplaner so einen simulationswürdigen und aussagekräftigen Ziehprozess aufbauen. **Abbildung 5.3.2** zeigt die Prozesskette zur Umformsimulation am Beispiel des Vorderkotflügels der Limousine der aktuellen Mercedes-Benz E-Klasse.

Bei der inkrementellen Simulation der Ziehstufe werden grundsätzlich die drei Prozessschritte Wirkung der Schwerkraft, Schließen und Ziehen berücksichtigt. Der Schritt Schwerkraft bildet dabei die Formveränderung der Platine durch das Aufliegen derselben auf dem Blechhalter ab. Beim Schließen wird bei einem einfach wirkenden Fertigungsprozess die Formänderung der Platine bei der Bewegung der Matrize bis zum Kontakt mit dem Blechhalter simuliert. Der Schritt Ziehen bildet schließlich den eigentlichen Ziehprozess ab. Hierzu wird die Formänderung der Platine bei Bewegung von Matrize und Blechhalter in Stößelrichtung sowie bei einer Blechhalterkraft mit Wirkrichtung zur Matrize abgebildet.

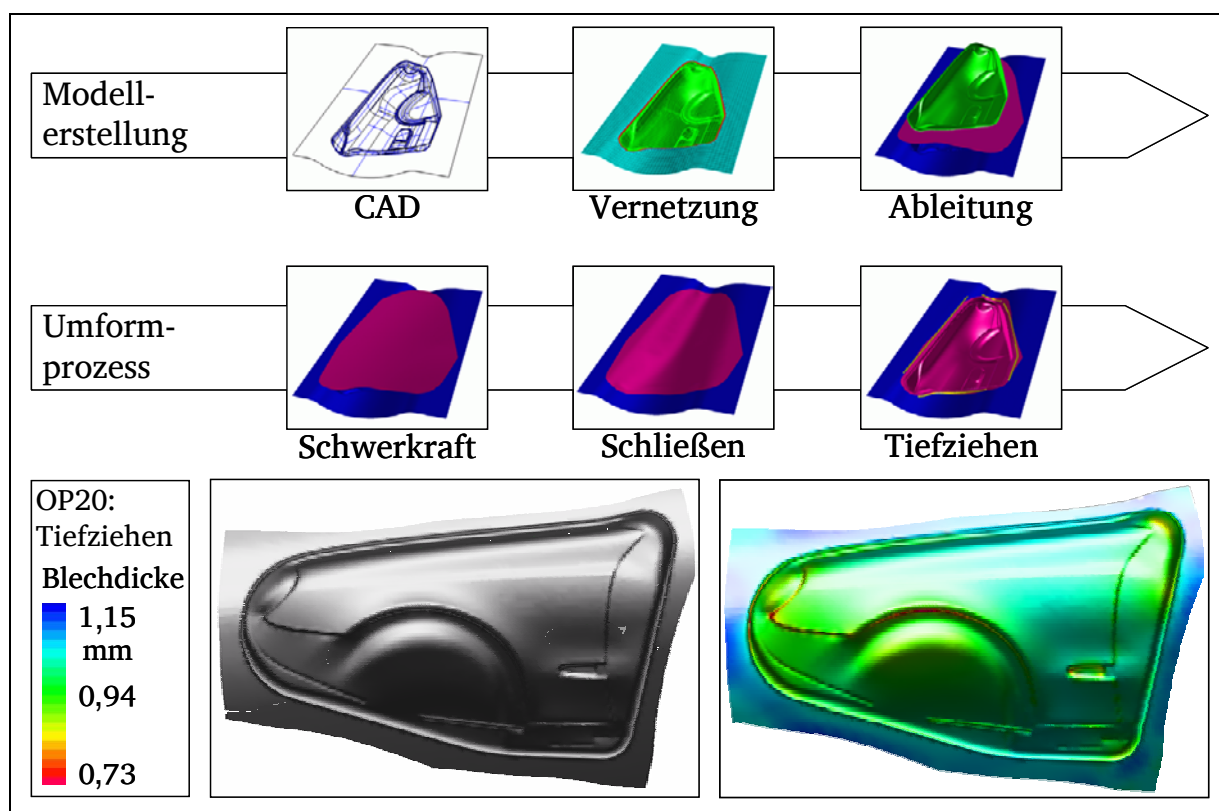


Abbildung 5.3.2: Vorgehen bei der Umformsimulationserstellung [Roh01]

Nachdem die Bauteilgeometrie in die entsprechende Software eingeladen wurde, erfolgt bei den meisten verfügbaren Pre-Prozessoren eine automatisierte Vernetzung. Aus der Bauteilgeometrie werden im Anschluss die Geometrien des Ziehstempels, der Matrize und des Blechhalters abgeleitet. Hierfür gibt es zum Beispiel innerhalb der Software AutoForm DieDesigner viele Möglichkeiten zur Unterstützung und Automatisierung. Das Ergebnis der inkrementellen Simulation ist exemplarisch am Vorderkotflügel der Mercedes-Benz E-Klasse in Abbildung 5.3.2 in Form der

Blechdickendarstellung gezeigt. Es genügt jedoch nicht nur eine Aussage zur prinzipiellen Machbarkeit zu geben.

Vielmehr muss die betroffene Planerrolle in der Lage sein, der Bauteilentwicklung Vorschläge zur Bauteilgestaltung zu geben, wenn eine Machbarkeit nicht gegeben ist. Dies kann von der Änderung eines Radius am Bauteil bis hin zu einer weit reichenden Konzeptänderung gehen.

Prototypwerkzeuge

Eine weitere Möglichkeit zur Absicherung der prinzipiellen Bauteilmachbarkeit ist die Anfertigung eines dedizierten Prototypwerkzeugs. Die Beschaffung von Prototypwerkzeugen hat dabei zwei Bedeutungen.



Abbildung 5.3.3: Werkzeug zur Herstellung von Prototypteilen

Einerseits werden Werkzeuge für die Herstellung von Prototypteilen benötigt. Diese Prototypbauteile werden zum Aufbau von Prototypfahrzeugen zu bestimmten definierten Zeitpunkten im Entwicklungsprozess verwendet. Ein großer Teil der Prototypteile und -werkzeuge werden als fertig abgepresste Bauteile von externen Lieferanten beschafft. Da die meisten Automobilhersteller über einen eigenen Werkzeugbau verfügen, macht es auch andererseits Sinn, für bestimmte Bauteile

Prototypwerkzeuge nach der Serienziesmethodik intern anzufertigen. Hierfür bieten sich insbesondere Teile an, die aus Werkstoffen bestehen, für die keine Erfahrungen im Serienfertigungsprozess vorhanden sind, oder Bauteile, die mittels einer komplexen Doppel- oder Vierfachteilfertigung geplant sind. Die Erkenntnisse beim Abpressen sollen schließlich in den Serienwerkzeugprozess und in die Bauteilgestaltung einfließen.

Bei der Absicherung über ein Prototypwerkzeug, wie es in **Abbildung 5.3.3** dargestellt ist, besteht ein Zielkonflikt zwischen Kosten und Absicherung, da die Prämissen für die Prototypteile- und die Serienteilefertigung sehr unterschiedlich sind. Während beispielsweise die benötigte Anzahl an Prototypteilen bei wenigen Hunderten liegt, werden für Großserien weit über Hunderttausend Teile pro Jahr des sechsjährigen Produktionszeitraums eingeplant. Zudem ist der Fertigungsprozess sehr unterschiedlich: In den Großpresswerken der Automobilhersteller werden Serienteile über mehrere Werkzeugstufen und moderne Pressentransferttechnologien hergestellt. Beim Abpressen der wenigen Prototypteile steht jedoch nur eine Presse zur Verfügung, auf der zunächst alle Ziehteile abgepresst werden. Anschließend erfolgt typischerweise ein Vorbeschnitt aller Teile in einer Laserschneidanlage. Diese Bauteile werden danach wieder in einem Abkantwerkzeug auf der Presse weiterbearbeitet und schließlich in der Laseranlage fertig beschnitten.

Die Unterschiede in den Randbedingungen und im Fertigungsprozess zwischen Serien- und Prototypteilefertigung machen deutlich, dass aus Gründen der Wirtschaftlichkeit maximal die Ziehstufe serienwerkzeugähnlich aufgebaut werden kann. In der Praxis wird zudem auf Gussgestell, Führungen und ähnliche Baugruppen eines Serienwerkzeugs verzichtet. Zur tatsächlichen Absicherung kommt also nur die Wirkfläche der Ziehstufe in der Serienzusammenlegung und mit der Serienzieslage. Dennoch können über ein serienähnliches Prototypwerkzeug die Schlüsse, die aus einer FEM-Simulation gezogen wurden, verifiziert und erhärtet werden.

5.3.2 Planung des Fertigungskonzeptes

Der zweite methodische Schritt, der in **Abbildung 5.3.4** dargestellt ist, besteht in der Absicherung der Herstellbarkeit. während für die Analyse der Machbarkeit nur sehr wenige Parameter der späteren Fertigung einfließen, wird für die Betrachtung der Herstellbarkeit ein detailliertes Fertigungskonzept mit einbezogen.

Die Erstellung des Fertigungskonzeptes ist dabei das eigentliche Kernstück der Planungsmethodik IMPRESS. Hier werden alle Parameter der späteren Fertigung mit Werten besetzt. Durch eine Variation der Werte können zudem unterschiedliche Szenarien aufgebaut werden, die schließlich technisch und wirtschaftlich miteinander zu vergleichen sind. **Abbildung 5.3.5** zeigt die Systematisierung des Fertigungskonzeptes und spaltet es in die Bereiche Prämissen, Produkt, Prozess und Ressource auf.

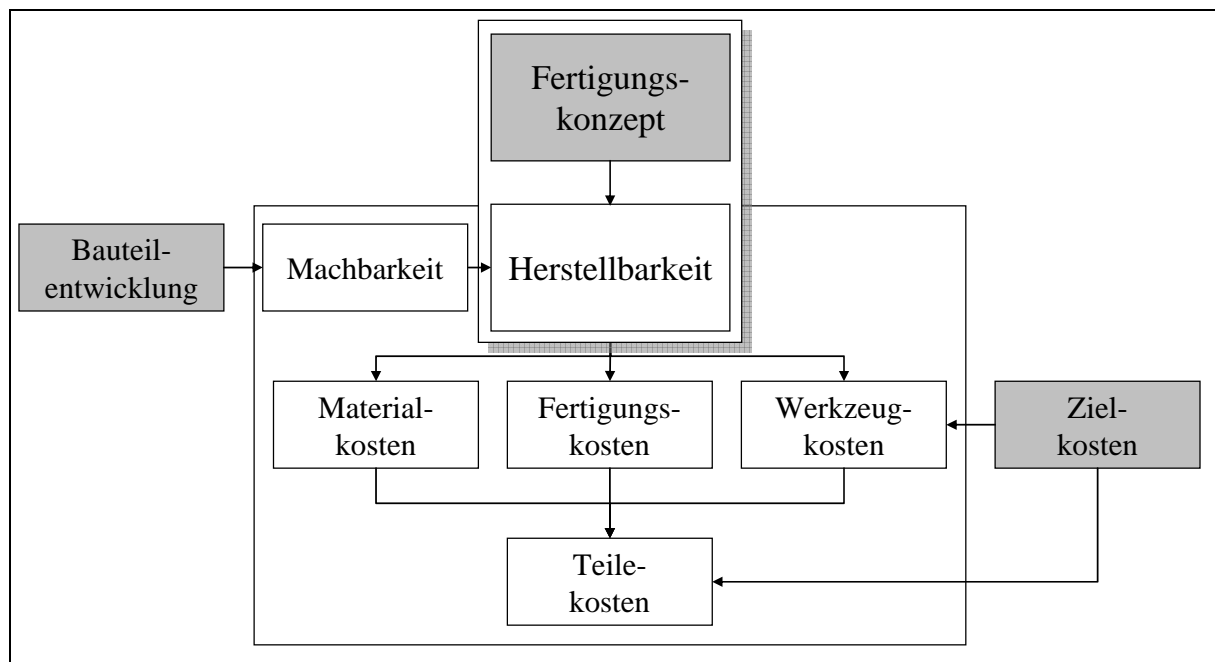


Abbildung 5.3.4: Zweiter Schritt: Planung des Fertigungskonzeptes

Prämissen des Fertigungskonzeptes

Einen Einfluss auf das Fertigungskonzept haben die in der **Abbildung 5.3.5** hervorgehobenen Prämissen unter denen das Projekt geplant wird. Nachdem in Kapitel 2.1.3 bereits auf den grundsätzlichen Rahmen, in dem eine Presswerkplanung statt findet, eingegangen wurde, sollen im Folgenden kurz die Prämissen bei der Erstellung des Fertigungskonzeptes dargestellt werden. Eine Randbedingung für die Fertigungskonzeptplanung sind die Grenzen der Gesetze der Umformtechnologie. So eignen sich bestimmte Pressenarten allein schon auf Grund ihrer Größe oder ihrer abrufbaren Stößelkraft für die Fertigung einer Klasse von Bauteilen. Die Prämissen der Umformtechnologie fließen insbesondere über die Erfahrung der Planer ein.

Eine weitere wichtige Randbedingung für das Fertigungskonzept sind die Projektziele. So hat beispielsweise die geplante Ausbringungsmenge einen großen Einfluss. Da

die Werkzeugkosten als Investitionsraten auf jedes abgepresste Bauteil umgeschlagen werden, haben diese bei einem in Kleinserie produzierten Derivat einen prozentual höheren Anteil an den Gesamtkosten als bei einem Ecktyp. So kann es durchaus sinnvoll sein bei kleineren Ausbringungsmengen, ein weniger komplexes Werkzeugkonzept unter anderem auch über so genannte Low-Cost-Normen anzustreben. Die Projektziele fließen über ein relationales Planungssystem beziehungsweise entsprechende Weisungen vom Management in den Planungsprozess ein.

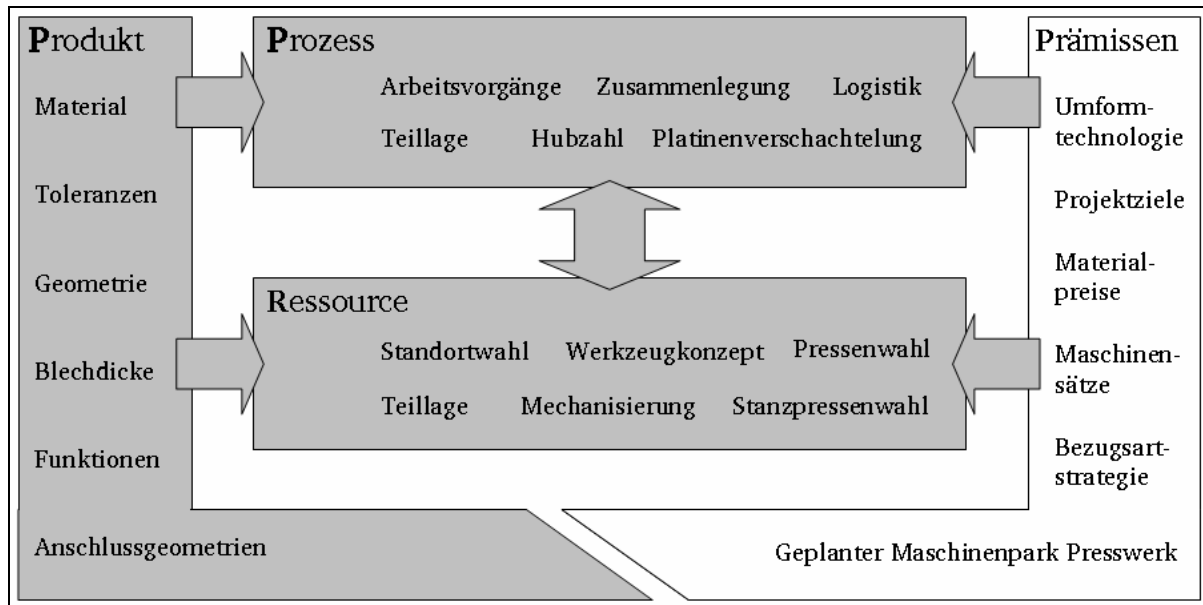


Abbildung 5.3.5: Prämissen einer Fertigungskonzeptplanung

Die für den Produktionszeitraum eingeplanten Preise haben ebenso einen Einfluss auf die Planung. Da die produktionsgerechte Produktgestaltung sehr früh im Fahrzeugprojekt stattfindet – also bis zu fünf Jahre vor der Produktion des ersten Fahrzeugs – müssen insbesondere die zum Produktionsstart geltenden Materialpreise geschätzt werden. Neben den Materialpreisen kommt auch den Pressenstundensätzen eine große Bedeutung zu. Diese Stundensätze sagen aus, wie viel eine Stunde Produktion auf einer bestimmten Presse kostet. Sowohl die Abschreibung der Presse als auch Verbrauchsgüter und Arbeitslöhne fließen hier ein. Doch nicht nur die Preise und Stundensätze zum Anlaufzeitpunkt müssen geschätzt werden, auch der dann verfügbare Maschinenpark ist eine limitierende Größe. Ist beispielsweise für einzelne Pressenlinien ein längerfristiger Umbau geplant, muss dies im Fertigungskonzept berücksichtigt werden. Alle Preise und Stundensätze sowie der verfügbare Maschinenpark, der für eine bestimmte Baureihe gültig ist, gehen über ein relationales Planungsdokumentationssystem in die Konzeptplanung ein.

Die letzte Prämisse, die einen großen Einfluss auf die Erstellung des Fertigungskonzeptes hat, ist die Bezugsartstrategie. Für ein Großpresswerk eines Automobilherstellers mit entsprechend teuren Transferpressen wird es beispielsweise nicht wirtschaftlich sein, Kleinteile in einer Einzelfertigung abzupressen. Zudem liegt der Fokus bei der optimalen Auslastung des Presswerks klar auf den Fahrzeugtypen, für die auch eine größere Ausbringungsmenge geplant ist. Die prinzipielle Bezugsartstrategie ist sehr stabil. So kann bei einer neuen Baureihe ungefähr von denselben Bezugsartverteilungen ausgegangen werden, wie dies bei der Vorgängerbaureihe der Fall war.

Produkt

Einen sehr gewichtigen Einfluss auf die Erstellung des Fertigungskonzeptes hat das zu beplanende Bauteil, dessen Hauptparameter **Abbildung 5.3.6** hervorhebt.

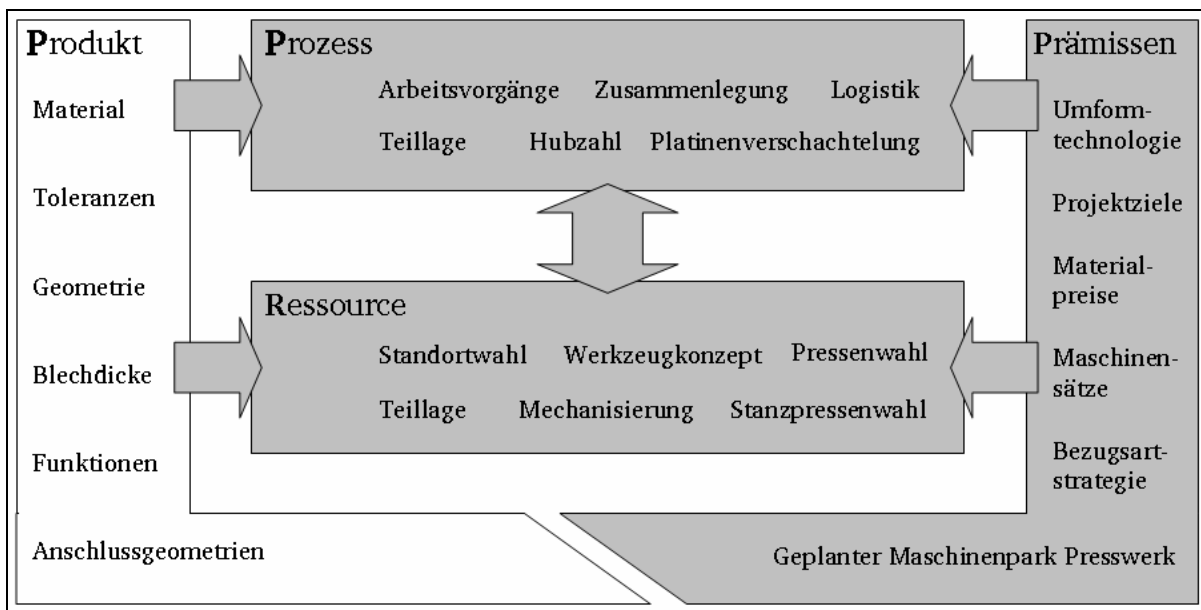


Abbildung 5.3.6: Einfluss des Produktes auf das Fertigungskonzept

Innerhalb des Prozesses der produktionsgerechten Produktgestaltung ist das Produkt die Größe, die letztendlich verändert werden soll. Bei der Erstellung des Fertigungskonzeptes im ersten Durchlauf der Methodik wird das Produkt jedoch als Konstante angenommen, die das zu wählende Fertigungskonzept beeinflusst. Neben dem gewählten Material, den geforderten Toleranzen, der eigentlichen Geometrie und den einzelnen realisierten Funktionen sind die Hauptparameter die Blechdicke sowie das Fügekonzept im Rohbau.

Der erste Parameter, der produktseitig einen Einfluss auf das Fertigungskonzept ausübt, ist das gewählte Material. In der Automobilindustrie ist dabei eine sehr breite Spanne an Werkstoffen gebräuchlich. Für Außenhautteile mit hohen Qualitätsanforderungen sind dies meist weiche Tiefziehstähle oder aus Gründen der Gewichtsreduzierung Aluminiumlegierungen. Bei Innen- und Strukturteilen, die eine hohe Crash-Relevanz besitzen, finden hoch-, höher- und höchstfeste Stähle Verwendung. Zudem werden die Stahlbleche elektrolytisch beschichtet oder feuerverzinkt. Doch auch neuere Methoden zur Beschichtung von Blechen, beispielsweise die Titan-Zirkon-Beschichtung, werden verwendet.

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Blechdicke. Für Beplankungsteile werden abhängig vom gewählten Material Dicken zwischen 0,75 mm und 1,25 mm eingesetzt. Bei Innen- und Strukturteilen kann jedoch eine Blechdicke von bis zu 2,5 mm gewählt werden. Eine Besonderheit des Einflussparameters Blechdicke sind Tailored Blanks und gewalzte Profile. Aus Gründen einer punktuell höheren Festigkeit oder einer Gewichtseinsparung werden bei Tailored Blanks Platinen unterschiedlicher Dicke oder Werkstoffgüten gefügt. So kann ein bestimmter Bereich des Bauteils gezielt mit höherer Blechdicke ausgestattet werden. Eine weitere Möglichkeit, eine derartige Blechdickenvariation zu realisieren, sind so genannte gewalzte Profile. Hier werden die Blechbänder bereits im Walzprozess des Stahlherstellers mit variablen Blechdicken produziert.

Neben dem Material und der Blechdicke haben auch die Toleranzen einen großen Einfluss auf die Erstellung des Fertigungskonzeptes. Zusätzlich zu den genormten Allgemeintoleranzen am Bauteil sind im Automobilbau bestimmte Flächen, beispielsweise Designkanten und Fügemaße, toleriert. Löcher können einzeln oder in einer Lochgruppe absolut sowie relativ über Toleranzen verfügen.

Ein Grund für eine enge Toleranz kann beispielsweise das Fügekonzept im Rohbau sein. So erfordern die Fügetechniken Laserschweißen oder Kleben andere Toleranzkonzepte als das klassische Punktschweißen. Das Fügekonzept hat auch Auswirkungen auf andere Parameter des Fertigungskonzeptes. So wird beispielsweise beim Einsatz der Fügetechnik Kleben ein zusätzliches Entfetten und Waschen des abgepressten Bauteils notwendig.

Die letzten beiden Faktoren des Produktes, die den Prozess und die Ressourcen beeinflussen, sind die Geometrie und die einzelnen Funktionen, die im Bauteil

Fertigungskonzept gliedert sich in die fünf Hauptgruppen Arbeitsvorgangplanung (AVO), Pressenplanung, Materialplanung, Durchlaufplanung und letztendlich die Werkzeugkonzeptplanung. Alle Hauptgruppen stehen sehr eng mit einander in Verbindung. So beeinflusst beispielsweise die gewählte Zusammenlegung das Werkzeugkonzept oder die Wahl der Presse die geplante Hubzahl.

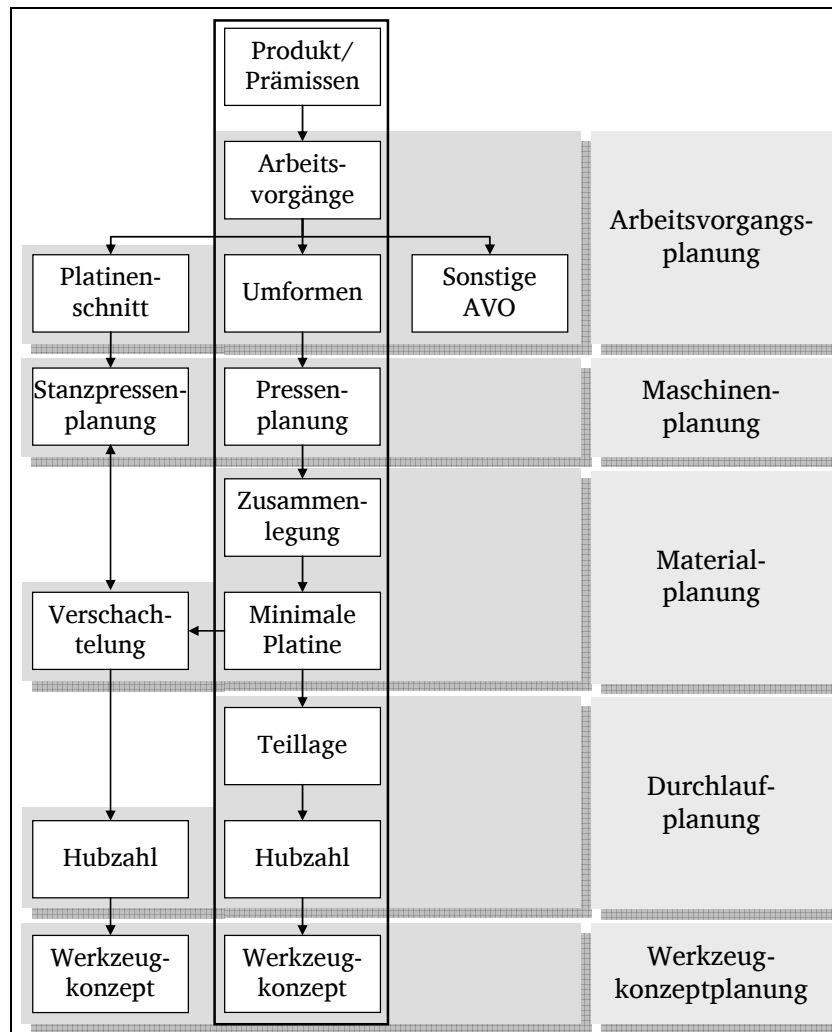


Abbildung 5.3.8: Ablauf der Prozess- und Ressourcenplanung

Abbildung 5.3.8 zeigt schematisch den Zusammenhang der einzelnen erforderlichen Prozess- und Ressourcenplanungsschritte. Während die Arbeitsvorgangs- und die Durchlaufplanung stärker einen Prozessplanungscharakter haben, besitzt die Maschinen-, die Material- und die Werkzeugkonzeptplanung eher Ressourcenplanungscharakter.

Die Abbildung 5.3.8 strukturiert die Planungsschritte logisch nach den einzelnen Hauptkomponenten. Der zeitliche Faktor wird durch die Umrandung der Planungs-

kette des Arbeitsvorganges „Umformen“ angedeutet. So ist dieser Arbeitsvorgang der führende Planungsstrang. Erst wenn die minimale Platine innerhalb der Materialplanung definiert ist, kann mit der Verschachtelung auch die eigentliche Maschinen- sowie die Durchlauf- und die Werkzeugkonzeptplanung des Arbeitsvorganges Platinenschnitt erfolgen.

Alle Schritte werden im Rahmen der neuen Planungsmethodik IMPRESS durchgängig digital auf Basis eines Softwaresystems innerhalb eines Datenmodells durchlaufen. Durch mehrfaches Besetzen der Parameter können auch Szenarien aufgebaut und technisch miteinander verglichen werden. Ausgangspunkt hierbei sind die auf den vorherigen Seiten vorgestellten Einflussgrößen des Produktes aus dem 3D-CAD-Modell und den grundsätzlichen Prämissen für das neue Fahrzeugprojekt.

Der erste Schritt innerhalb der Erstellung des Fertigungskonzeptes ist die Planung der Arbeitsvorgänge, die in **Abbildung 5.3.9** dargestellt ist.

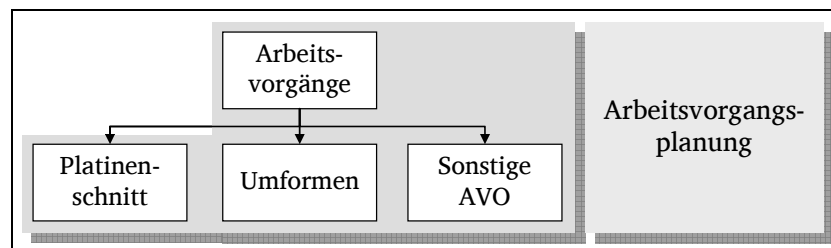


Abbildung 5.3.9: Planung des Arbeitsvorganges

Grundsätzlich gibt es bei der Fertigung von Tiefziehteilen verschiedene Arten von Arbeitsvorgängen. Die Abbildung 5.3.9 unterscheidet dabei zwischen den klassischen Vorgängen Platinenschnitt und Umformen sowie sonstigen Arbeitsvorgängen. Unter sonstigen Arbeitsvorgängen werden neben einem Waschen der Bauteile auch ein Verputzen, eine nachträgliche Oberflächenveränderung und manuelle Tätigkeiten, wie beispielsweise ein Umpacken, subsumiert.

Da die sonstigen Arbeitsvorgänge sowohl technisch als auch wirtschaftlich und organisatorisch eine eher geringe Relevanz besitzen, beschränkt sich die Planungsmethodik im Folgenden auf die Planung der klassischen Vorgänge Platinenschnitt und Umformen.

Der zweite Schritt bei der Erstellung des Fertigungskonzeptes ist die Planung der für die spätere Fertigung verwendeten Pressen. Die Auswahl der Presse erfolgt dabei vor allem nach den Parametern der Tischgröße und der möglichen Pressenkraft.

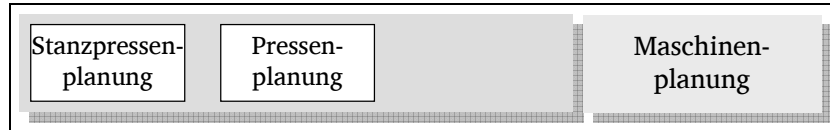


Abbildung 5.3.10: Maschinenplanung

Ein wichtiger Faktor ist jedoch auch die Art der Mechanisierung. In den Großpresswerken der Automobilindustrie werden neben der mechanisch angetriebenen Roboter-, der Greifer und der Saugerbalkenmechanisierung auch elektronisch angetriebene Schwingarmmechanisierungen eingesetzt. Zudem finden immer häufiger Folgeverbundpressen, die traditionell über Greiferbalken oder direkt über den Streifen mechanisiert sind, Verwendung.

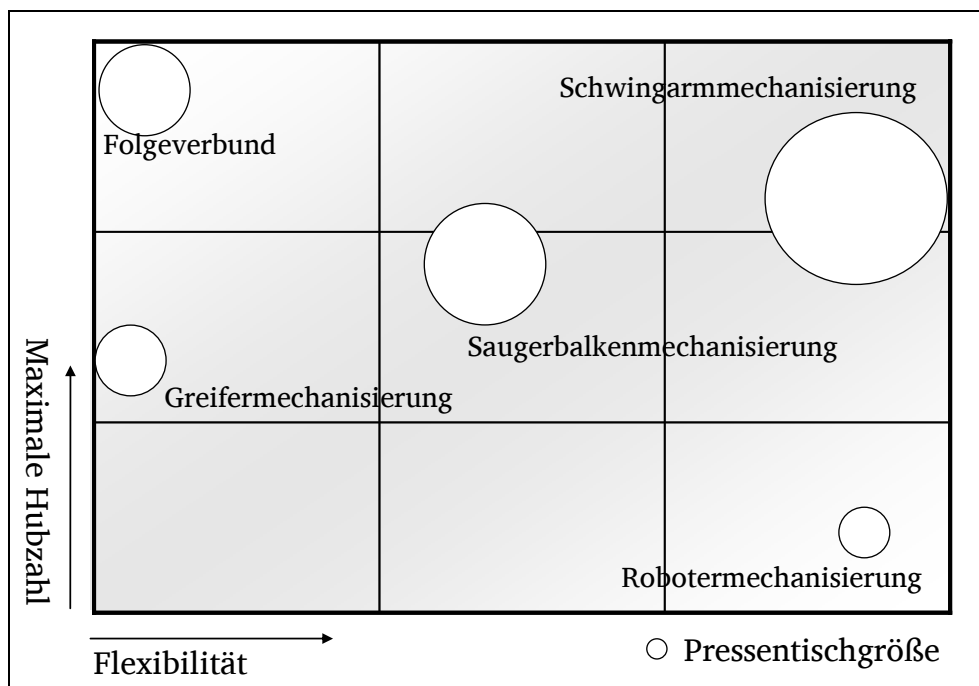


Abbildung 5.3.11: Vergleich gängiger Mechanisierungsarten

Abbildung 5.3.11 zeigt eine Einordnung der verschiedenen Mechanisierungsarten nach der Flexibilität, der maximal möglichen Hubzahl und den Tischgrößen. Bei sehr komplexen Teilegeometrien mit hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität, beispielsweise einer einteiligen Seitenwand, werden Saugerbalken- oder Schwingarmmechanisierungen eingesetzt. Bei einfacheren Innen- oder Strukturteilen finden

stärker Greifer- oder Robotermechanisierungen ihren Einsatz. Folgeverbundpressen sind limitiert auf Teile mit Ziehtiefen bis zu etwa zehn Zentimetern. Für flache Innenteile sind sie dennoch eine gute Alternative, da sie über eine sehr hohe maximale Hubzahl verfügen. Damit sind die Alternativen bei der Wahl der Presse, die eine große Auswirkung auf die Teiledurchlauf- und die Werkzeugkonzeptplanung hat, auf zwei bis maximal drei Pressenarten pro Bauteil beschränkt. Die Auswahl einer einzelnen Presse innerhalb dieser Pressenarten erfolgt unter Beachtung der strategischen, langfristigen Presswerkbelegungsplanung. Diese Langfristbelegungsplanung erfolgt im Allgemeinen mit einem Planungshorizont von zehn Jahren.

Die Entscheidung für eine bestimmte Platinenschneidanlage kann zudem erst nach der Materialplanung erfolgen, da die Verschachtelung der Platine am Coil maßgebend ist. In der IT-gestützten Planungsmethodik IMPRESS erfolgt die Wahl der Platinenschneid- und der Umformpresse über Auswahlfelder.

Ein weiterer Schritt bei der Erstellung des Fertigungskonzeptes innerhalb der Methodik ist die Planung des benötigten Materials, die in **Abbildung 5.3.12** dargestellt ist.

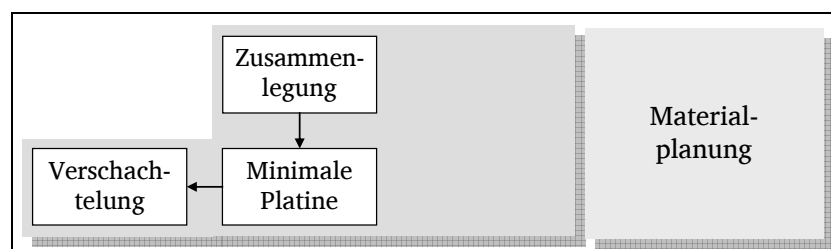


Abbildung 5.3.12: Planung des benötigten Materials

Ausgangspunkt ist die gewählte Zusammenlegung, die eng mit der Wahl der Umformpresse verbunden ist. So treten in der Automobilindustrie oftmals folgende Szenarien auf, die miteinander verglichen werden sollen. Ein kleines Innen- oder Strukturteil soll entweder als Doppelteil auf einer Folgeverbundpresse oder als Vierfachteil auf einer greifermechanisierten Transferpresse gefertigt werden. Je nach Wahl des Szenarios resultieren eine andere Platine, ein anderer Teiledurchlauf und vor allem ein grundverschiedenes Werkzeugkonzept.

Nach der Festlegung der Teilezusammenlegung wird die minimale Platine geplant. Ausgangspunkt ist eine FEM-Einschrittsimulation, mit Hilfe derer eine realistische

Abwicklung des dreidimensionalen Bauteils in die Ebene realisiert wird. Wie in **Abbildung 5.3.13** dargestellt, wird anschließend zwischen einer Standard- und einer Formplatte gewählt. Bei der Standardplatte, die das abgewickelte Bauteil umschließt, erfolgt der spätere Platinenschnitt über die Verwendung einer Standardkassette. Diese Kassette enthält Schnittmesser, die entweder als Gerade oder als Bogen angeordnet sind. Über ein zusätzliches Schwenken der Kassette können die Standardformen Bogenschnitt-, Trapez-, Parallelogramm- und Rechteckplatte erzeugt werden. Die minimale Platte entspricht dann der Standardform.

Bei der Wahl einer Formplatte muss ein eigenes Platinenschneidwerkzeug angefertigt werden, mit dem Löcher in der Platte und ein definierter Beschnitt realisiert werden können. Der Formbeschnitt, der auf dem abgewickelten Bauteil basiert, wird anschließend auf dem Blechcoil verschachtelt. Im Zuge dieses Vorgangs wird mit Hilfe mathematischer Algorithmen eine optimale Anordnung der Formbeschnitte auf dem Blechstreifen gesucht. Die minimale Formplatte entspricht in diesem Fall nicht dem Formbeschnitt, sondern dem Abschnitt auf dem Blechcoil inklusive des Materialverschnitts.

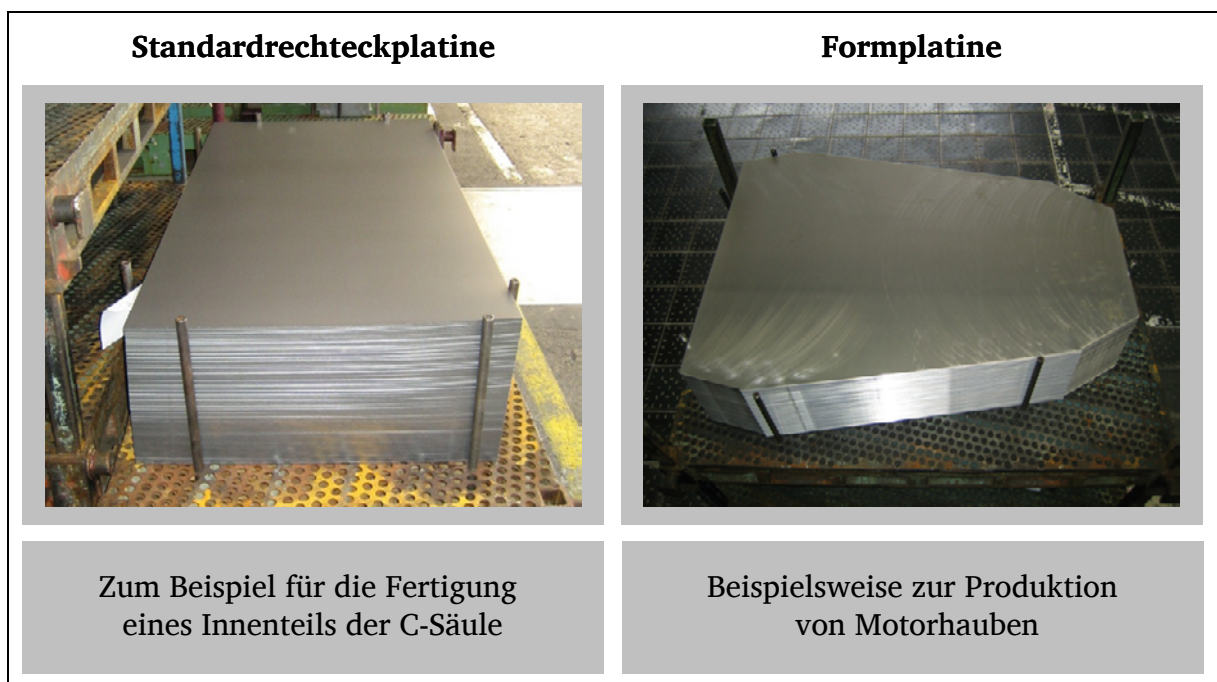


Abbildung 5.3.13: Vergleich Rechteckplatte und Formplatte

Die gewählte minimale Standard- respektive Formplatte und die daraus resultierende Bandbreite des Blechcoils beeinflussen maßgeblich die Wahl der Stanzpresse. So sind nur bestimmte Platinenschneidanlagen so ausgerüstet, dass die Standardkasset-

ten für die Realisierung der Standardzuschnitte darauf montiert werden können. Zudem sind alle Platinenschneidanlagen für einen bestimmten Bandbreitenbereich des Blechcoils ausgelegt. Auf Grund dieser beiden Faktoren schränkt sich die Anzahl an Alternativen bei der Wahl der Platinenstanzpresse auf maximal zwei bis drei Pressen ein.

Der nächste Schritt bei der Planung des Fertigungskonzeptes ist die erste Planung eines Teiledurchlaufs, die in Abbildung 5.3.13 dargestellt ist. Für den Planungsstrang des Arbeitsvorgangs Platinenschnitt ist die Gestaltung dieses Parameters trivial. Auch die Wahl der Hubzahl beim Schneiden der Platine ist hauptsächlich durch die Presse bestimmt. Im Folgenden wird deshalb nur auf den Arbeitsvorgang Umformen eingegangen.

Ausgangspunkt für die Konzeption der Teillage in der Pressenlinie ist die innerhalb der Machbarkeitsanalyse angenommene Ziehlage.

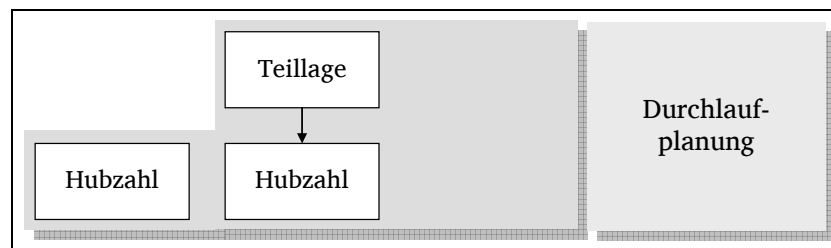


Abbildung 5.3.14: Planung des Teiledurchlaufs

Je nach Art der Mechanisierung der gewählten Presse gibt es Möglichkeiten für eine Verkippung des Bauteils in den Folgestufen. Während beispielsweise bei einer Greifermechanisierung oder einer Folgeverbundpresse die Teillage gar nicht verändert werden kann, sind die Möglichkeiten für eine Verkippung bei der Robotermechanisierung maximal. Saugerbalken- und Schwingarmmechanisierungen liegen zwischen den beiden Extremen, während die elektrisch gesteuerten Crossbars dem Saugerbalkentransfer überlegen sind. Im Allgemeinen ist die Schwingarmmechanisierung, wie in der **Abbildung 5.3.14** einzusehen, ein Kompromiss aus hoher Flexibilität bei gleichzeitig hoher maximaler Hubzahl.

Die Frage, wie stark diese Flexibilität der Presse über eine Verkippung in den Folgestufen ausgenutzt werden soll, kann jedoch nicht ohne das Werkzeugkonzept beantwortet werden. Zudem kann eine Verkippung des Bauteils Auswirkungen auf die mögliche Hubzahl haben. Insbesondere bei elektronisch mechanisierten

Schwingarmpressen kann die Veränderung der Teillage in einem bestimmten Hubzahlbereich zu Kurven führen, die in der Realität nicht zu verwenden sind.

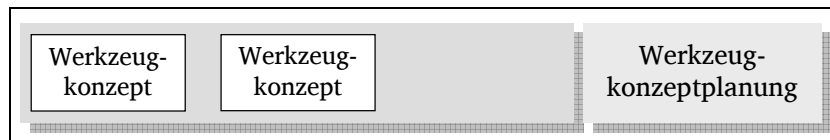


Abbildung 5.3.15: Planung des Werkzeugkonzeptes

Der letzte Schritt bei der Planung des Fertigungskonzeptes ist, wie in der **Abbildung 5.3.15** zu sehen, die Konzeption der Werkzeuge respektive deren methodische Inhalte. Die Werkzeugkonzeptplanung im Planungsstrang Platinenschnitt soll hierzu als erstes vorgestellt werden. Bei der Wahl einer Standardplatine, die mit Hilfe bereits existierender Standardkassetten gefertigt werden, muss kein eigenes Platinenschneidwerkzeug beschafft werden. Nur bei der Verwendung einer Formplatine, die aus dem Blechband gestanzt wird, muss ein Werkzeug für den Platinenschnitt erstellt und beplant werden. Diese Platinenschneidwerkzeuge sind im Aufbau jedoch vergleichsweise einfach. Sie beinhalten neben einem durch die herstellerabhängige Werkzeugnormung weit gehend definierten Grundaufbau nur die Ober- und Untermesser, die benötigt werden, um den Formbeschnitt auszuführen.

Sehr viel komplexer sind die Werkzeuge, die für den eigentlichen Umformvorgang benötigt werden. Diese sind deshalb so kompliziert, weil letztendlich der eigentliche Bauteilherstellungsprozess von der Platine bis zum Fertigteil in den Werkzeugen abgebildet werden muss. Die Planung des Großwerkzeugkonzeptes ist damit die wichtigste Aufgabe innerhalb der Fertigungskonzeptplanung. Alle zuvor besetzten Parameter, wie beispielsweise die Wahl der Presse, beeinflussen das Werkzeugkonzept. Bisher basierte die Werkzeugkonzeptplanung in der frühen Fahrzeugphase, in der die produktionsgerechte Produktgestaltung angesiedelt ist, auf den Erfahrungswerten des betreffenden Produktionsplaners. Die digitale durchgängige, integrierte Methodik IMPRESS schlägt hier ein featurebasiertes Vorgehen vor. Auf Basis der Bauteilgeometrie und den darin realisierten Funktionen soll das Werkzeugkonzept für den Arbeitsvorgang Umformen erfolgen.

Die **Abbildung 5.3.16** zeigt das von der Planungsmethodik vorgeschlagene featurebasierte Vorgehen bei der Werkzeugkonzeptplanung. Ausgangspunkt ist dabei die Tatsache, dass das Bauteil aus Features besteht. Zudem fließen die bisher im

Fertigungskonzept besetzten Parameter mit ein: Neben der gewählten Presse sind dies insbesondere die Teillagen in den einzelnen Operationen. In Kapitel 2 wurde eine Unterscheidung der Werkzeuge in die Ziehoperation und die Folgeoperationen getroffen, die im Folgenden wieder aufgegriffen wird.

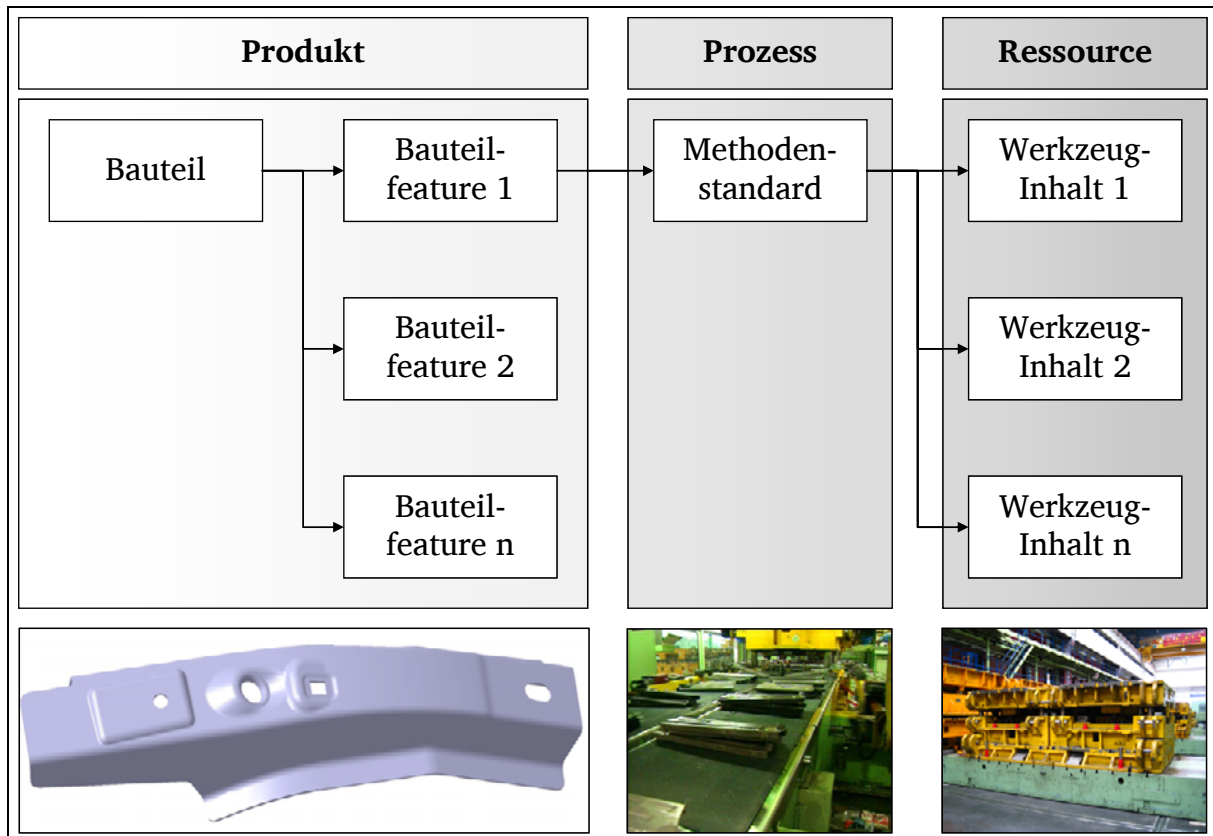


Abbildung 5.3.16: Featurebasierte Methodik zur Werkzeugkonzeptplanung

Auf die Ziehstufe hat vor allem die gewählte Presse einen großen Einfluss. Je nachdem ob es sich um eine einfach oder eine doppelt wirkende Ziehpresse handelt, muss das Werkzeugkonzept angepasst werden. Der Aufbau des Ziehwerkzeuges ist dennoch relativ stabil und gliedert sich in die Matrize, den Blechhalter und den Stempel sowie diverse Normteile, wie beispielsweise die Säulenführungen. Die Dimensionierung der Komponenten ist abhängig von der Bauteil- respektive der Ziehteilgeometrie. Die Ziehstufe wurde innerhalb der Presswerkplanungsmethodik bereits für die Untersuchung der Bauteilmachbarkeit aufgebaut und muss somit nicht näher geplant werden. Obwohl die Ziehoperation die umformtechnisch anspruchsvollste Stufe ist, hat sie einen eher geringen Anteil an den Werkzeugkosten. Für die Herstellung komplexer Außenhautgeometrien liegt dieser Anteil bei etwa 15 bis 20 Prozent.

Eine genaue Planung der Folgestufen ist deshalb unabdingbar. Hier setzt die featurebasierte Methodik zur Werkzeugkonzeptplanung an, die ein Kernstück der Methodik IMPRESS bildet. Zunächst muss das zu beplanende Bauteil in Features aufgeteilt werden, wobei zwischen Linien- und Flächenfeatures unterschieden wird. Während es sich bei Linienfeatures beispielsweise um den Bauteilrand oder einzelne Löcher und Durchbrüche handelt, sind Flächenfeatures Flansche, deren Funktion die Verbindung mit anderen Bauteilen ist. Nach einer Eingruppierung der Features werden nun – abhängig von der Teillage in den Operationen – Methodenstandards für die Fertigung jedes einzelnen Bauteildetails gewählt.

Definition 5.3.1: Ein Methodenstandard ist eine Abfolge von methodischen Schritten, die typischerweise in verschiedenen Werkzeugoperationen erfolgen. Die einzelnen methodischen Schritte werden im Folgenden als Module bezeichnet.

Nach der Definition 5.3.1 können beispielsweise für die Herstellung von Flanschen verschiedene Methodenstandards verwendet werden. Die **Abbildung 5.3.17** zeigt eine Auswahl verschiedener Standards, mit denen eine Fertigung eines hinterschnittigen Flansches erfolgen kann. Je nach Bauteilgeometrie, Teillage sowie maximaler Anzahl möglicher Stufen in der gewählten Presse wählt der Planer einen Standard aus, der für die Fertigung des Features geeignet ist.

Methodenstandard	Modul 1	Modul 2	Modul 3	Modul 4
Beispiel 1	Nachformen mit Füllschieber	Fertigbeschnitt mit Schieber		
Beispiel 2	Beschnitt mit Schieber	Nachformen mit Füllschieber		
Beispiel 3	Abkanten	Nachformen mit Füllschieber	Fertigbeschnitt mit Schieber	
Beispiel 4	Beschnitt mit Schieber	Abkanten	Nachformen mit Füllschieber	
Beispiel 5	Beschnitt aus Stößelrichtung	Nachformen mit Füllschieber	Fertigbeschnitt mit Schieber	
Beispiel 6	Beschnitt aus Stößelrichtung	Abkanten	Nachformen mit Füllschieber	Fertigbeschnitt mit Schieber

Abbildung 5.3.17: Auswahl verschiedener Methodenstandards

Nachdem die methodisch notwendigen Schritte für die Herstellung jedes einzelnen Features durch die Auswahl eines Methodenstandards erfolgte, müssen die

Methodenmodule auf die Werkzeugoperationen verteilt werden. Das eigentliche Werkzeugkonzept wird durch Verschieben der Module in die jeweils richtige Werkzeugoperation erstellt. Somit kann der Produktionsplaner innerhalb sehr kurzer Zeit ein Werkzeugkonzept digital durchgängig auf Basis der vorher getroffenen Annahmen für das Fertigungskonzept erstellen. Zudem wird durch die Definition und den Einsatz von Methodenstandards das Werkzeugkonzept standardisiert und modularisiert.

5.3.3 Ermittlung der Teilekosten

Nachdem in den vorhergehenden Schritten die Machbarkeit geprüft, ein Fertigungskonzept erstellt und die Herstellbarkeit analysiert wurde, widmen sich das folgende Kapitel der Ableitung von Teilekosten. Die Kosten sollen dabei digital durchgängig aus dem geplanten Fertigungskonzept hergeleitet werden.

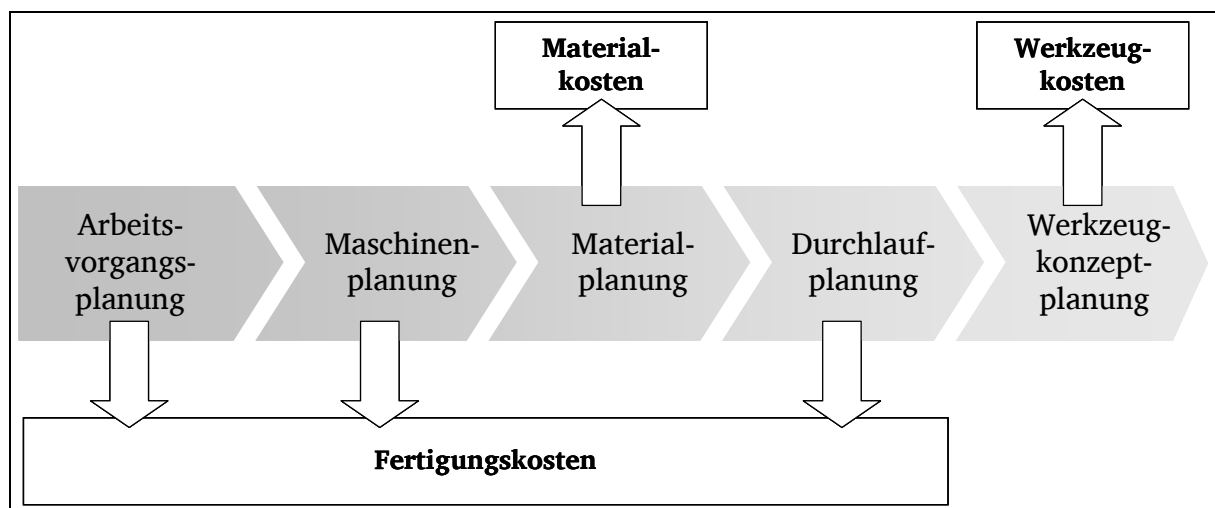


Abbildung 5.3.18: Auswirkung des Fertigungskonzeptes auf die Teilekosten

Abbildung 5.3.18 stellt die Abhängigkeiten der drei Kostenblöcke von den einzelnen Planungsschritten bei der Erstellung des Fertigungskonzeptes dar. So setzen sich die Fertigungskosten aus den ermittelten Planungsergebnissen der Abschnitte Arbeitsvorgangs-, Maschinen- und Durchlaufplanung zusammen. Während die Materialkosten auf den Entscheidungen der Materialplanung basieren, wirken sich die geplanten Werkzeugkonzepte und damit die methodischen Inhalte einer Operationsstufe auf die Werkzeugkosten aus.

Materialkosten

Ausgangspunkt für die Ermittlung der Materialkosten, gezeigt in der **Abbildung 5.3.19**, ist das geplante Fertigungskonzept, insbesondere die Materialplanung. Das wichtigste Planungsergebnis dieser Phase ist die Fläche der Standardplatine respektive der Abschnitt, den die Formplatte mit der gewählten Verschachtelung auf dem Blechcoil einnimmt.

Bei der Wahl einer Standardplatine ist die Kostenkalkulation trivial. Eingangsgröße ist dann die Platinenfläche, beispielsweise in Form eines Rechtecks oder eines Trapezes. Die Kosten der Platine C_{Platine} ergeben sich nach der Formel

$$(I) \quad C_{\text{Platine}} = f(\rho, A, H, B) = \rho \cdot A \cdot H \cdot p_{\text{HB}} \quad [\text{€}],$$

wobei ρ die Materialdichte, A die Fläche der Platine, H die Blechdicke und p_{HB} die Materialpreise pro Gewichtseinheit als Funktion der Blechdicke und der gewählten Coilbreite B bezeichnet.

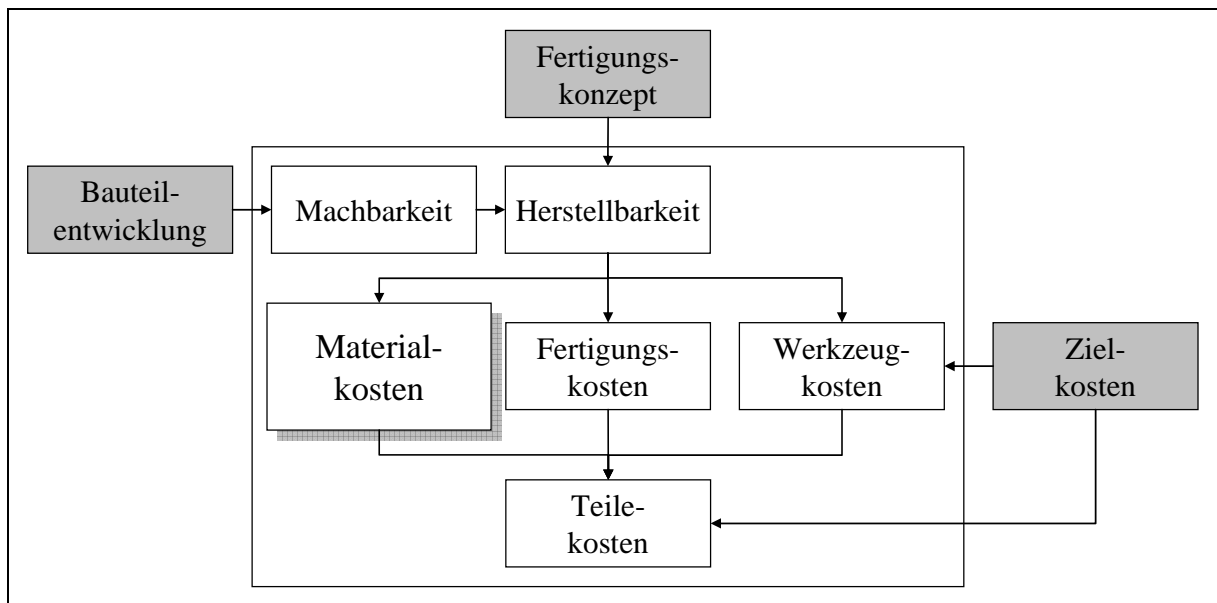


Abbildung 5.3.19: Ermittlung der Materialkosten

Für eine Formplatte berechnen sich die Materialkosten ebenfalls nach der Formel (I). Die Platinenfläche ist dann jedoch nicht durch den Formbeschnitt repräsentiert. Vielmehr ist der Abschnitt, den die verschachtelte Formplatte auf dem Blechcoil einnimmt von Bedeutung. Die Fläche A ergibt sich dann aus der Multiplikation des gewählten Vorschubs mit der Coilbreite.

Um den Faktor p_{HB} der Formel (I) zu verstehen, ist es wichtig, den Angebotsprozess des Stahllieferanten zu kennen. Die Kosten des Materials mit einer bestimmten Beschichtung und Blechdicke berechnet sich typischerweise nach der Coilbreite. **Abbildung 5.3.20** zeigt ein Beispiel für eine derartige, generische Materialkostenkurve.

Beim Analysieren der Kurve wird schnell deutlich, dass sich die Kosten pro Tonne Blechcoil bei bestimmten Schwellenwerten verändern. Im Abschnitt bis etwa 1700 mm Coilbreite sinken diese Kosten kontinuierlich. Es kann in diesem Bereich also durchaus sinnvoll sein, einen breiteren Coil zu verwenden, als umformtechnisch notwendig wäre, wenn die Gesamtkosten für das Blech trotz des zusätzlichen Materials insgesamt niedriger liegen.

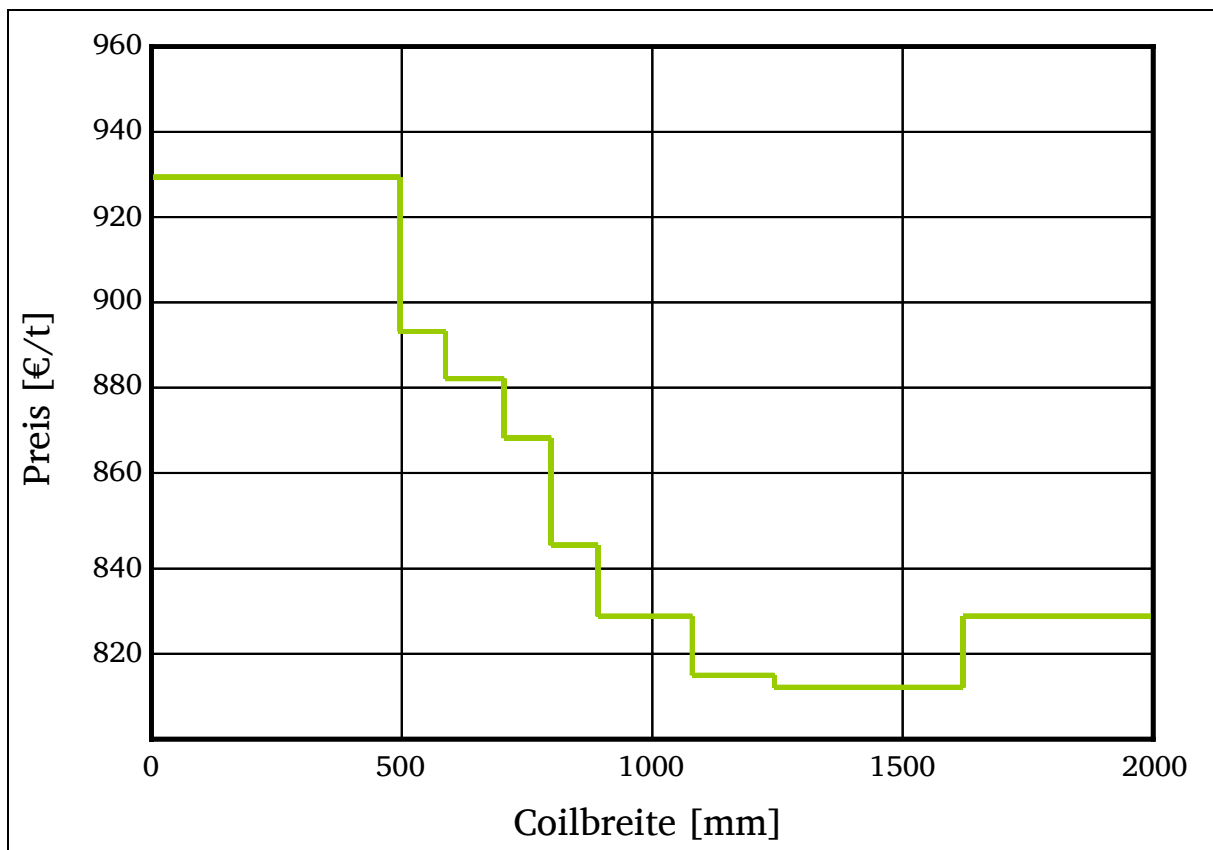


Abbildung 5.3.20: Beispiel für eine Materialkostenkurve

Für die holistische Optimierung des Materials unter Kostengesichtspunkten müssen zudem die Schrotterlöse betrachtet werden. Der Verschnittlös E_s ist abhängig von der bauteilspezifischen Materialausnutzung und berechnet sich nach der Formel

$$(II) \quad E_s = f(\rho, N, A, H, C_s) = \rho \cdot A \cdot H \cdot p_s \cdot (1 - N) \quad [€],$$

wobei N der Ausnutzungsgrad und p_s der geplante Preis ist, für den die Schrotterlöse an den Stahlhersteller zurück verkauft werden können.

Der Ausnutzungsgrad N ergibt sich aus dem Gewicht der Einsatzplatte dividiert durch das geplante Fertigteilgewicht, das im Catia-V5-Modell des Bauteiles ermittelt wird. Bei dem Fertigteilgewicht handelt es sich um ein geplantes Teilgewicht, weil eine Ausdünnung, die im späteren Umformprozess je nach Geometrie und Material in bestimmten Teilbereichen der Geometrie bis zu 20% betragen kann, nicht mit eingerechnet wird. Für die Kostenermittlung in der frühen Phase der produktionsgerechten Produktgestaltung ist die Genauigkeit jedoch hinreichend genau.

$$(III) \quad \min C_{Mat} = f(C_{Platine}, E_s) = C_{Platine} - E_s \text{ [€]}$$

Das endgültige Optimierungsproblem der Materialkostenermittlung liegt in der Minimierung der gesamten Materialkosten C_{Mat} und ist in der Formel (III) dargestellt.

Fertigungskosten

Die Ermittlung der Fertigungskosten, gezeigt in **Abbildung 5.3.21**, basiert auf den Fertigungskonzeptplanungsschritten der Arbeitsvorgangs-, der Maschinen- und der Durchlaufplanung.

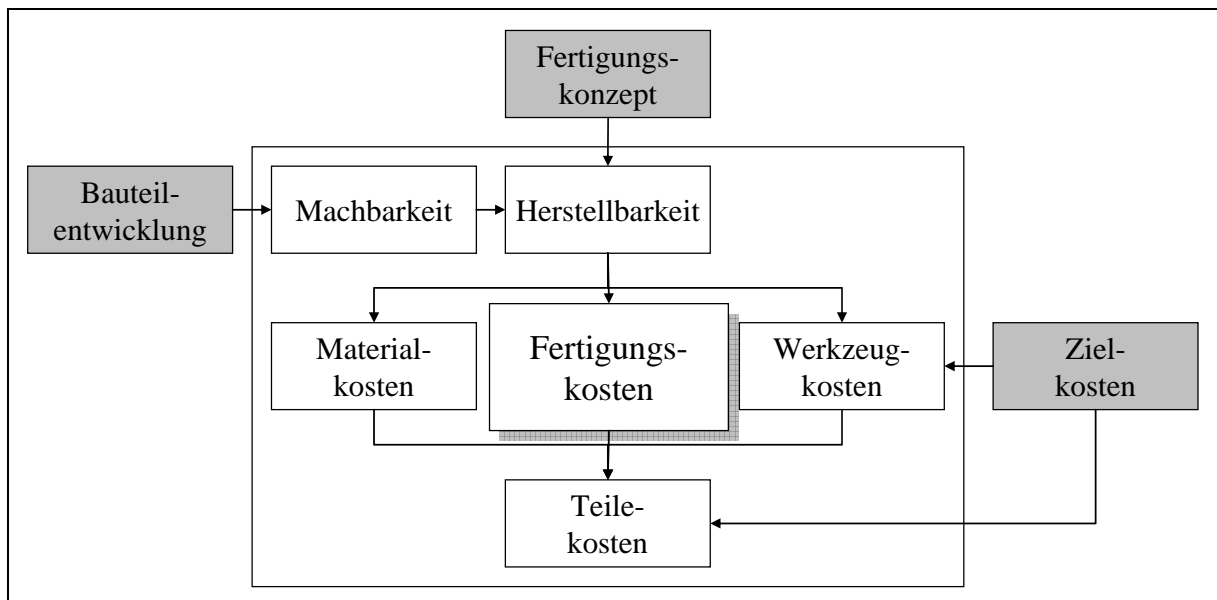


Abbildung 5.3.21: Ermittlung der Fertigungskosten

Für die Kalkulation werden im Folgenden die sonstigen Arbeitsvorgänge, insbesondere das Waschen der Bauteile, ausgeklammert. Die zu ermittelnden Kosten C_{FK}

bestehen dann aus den Fertigungskosten bei den Arbeitsvorgängen Platinienschnitt C_s und Umformen C_p .

$$(IV) \quad C_{FK} = f(C_P, C_S) = C_P + C_S \quad [€]$$

Die Fertigungskosten beim Vorgang Umformen berechnen sich nach

$$(V) \quad C_P = \frac{V}{U} \quad [€],$$

wobei U die geplante, abgesicherte Hubzahl und V ein Verrechnungssatz für die Fertigungsgemeinkosten ist. In diesen Verrechnungssatz fließen neben den Lohnkosten auch die Abschreibungen der Pressenlinie sowie anteilmäßig die Instandhaltung von Maschinen und Werkzeugen ein. Da der so genannte Maschinenminutensatz weit gehendkonstant bleibt, besteht die einzige Möglichkeit die Fertigungskosten zu senken, in einer Maximierung der Hubzahl und damit einer Anpassung des Fertigungskonzeptes.

Die Berechnung der Fertigungskosten des Arbeitsvorganges Platinienschnitt erfolgt analog zu dem oben dargestellten Verfahren.

Werkzeugkosten

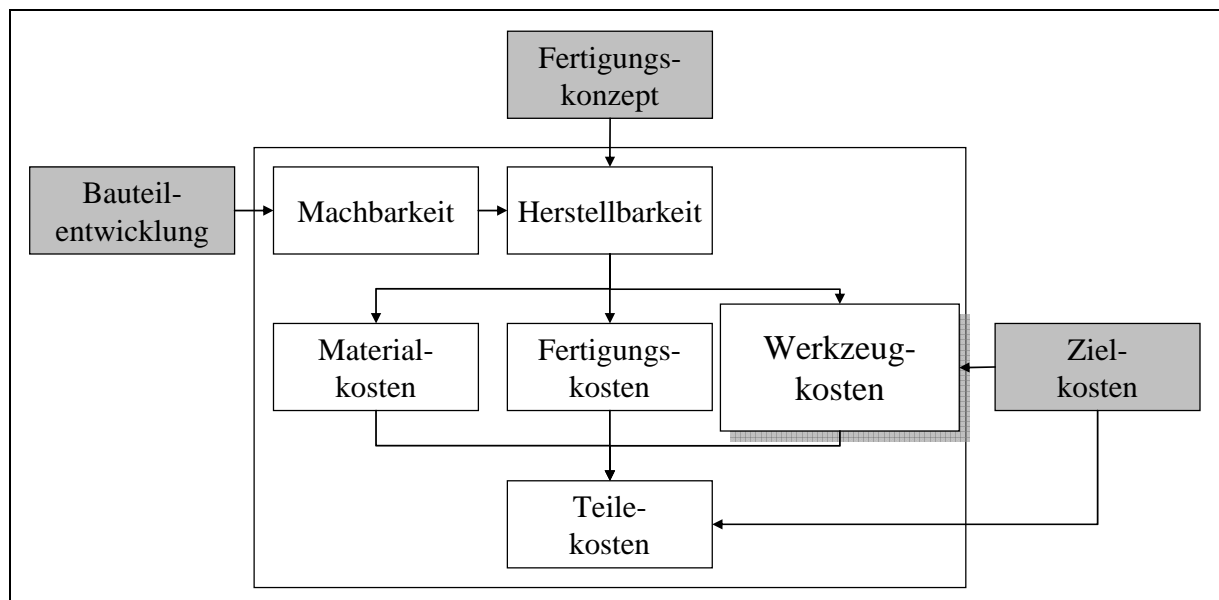


Abbildung 5.3.22: Herleitung der Werkzeugkosten

Die Herleitung des letzten Kostenblocks ist die Kalkulation von Werkzeugkosten, zu sehen in **Abbildung 5.3.22**. Während bei der Ermittlung der Fertigungs- und der

Materialkosten bereits Softwareinsellösungen bei den Automobilherstellern im Einsatz sind, geschieht die Ermittlung der Werkzeugkosten in der frühen Phase der produktionsgerechten Produktgestaltung durch subjektive Schätzungen der Produktionsplaner.

Die Methodik IMPRESS schlägt hier ein Vorgehen vor, das auf dem featurebasiert entwickelten Werkzeugkonzept basiert. Die Problematik bei der Ermittlung der Werkzeugkosten liegt daran, dass in der frühen Phase der produktionsgerechten Produktgestaltung eine Entscheidung über die endgültige Bezugsart der Werkzeuge noch nicht getroffen ist. Um jedoch eine für alle Bauteile respektive alle Werkzeugsätze vergleichbare Basis zu schaffen, wird im Folgenden von so genannten technischen Kosten ausgegangen.

Die **Abbildung 5.3.23** zeigt die Methodik zur Werkzeugkostenkalkulation im Detail am Beispiel des rechten Leuchtenausschnitts der Motorhaube der Mercedes C-Klasse Limousine.

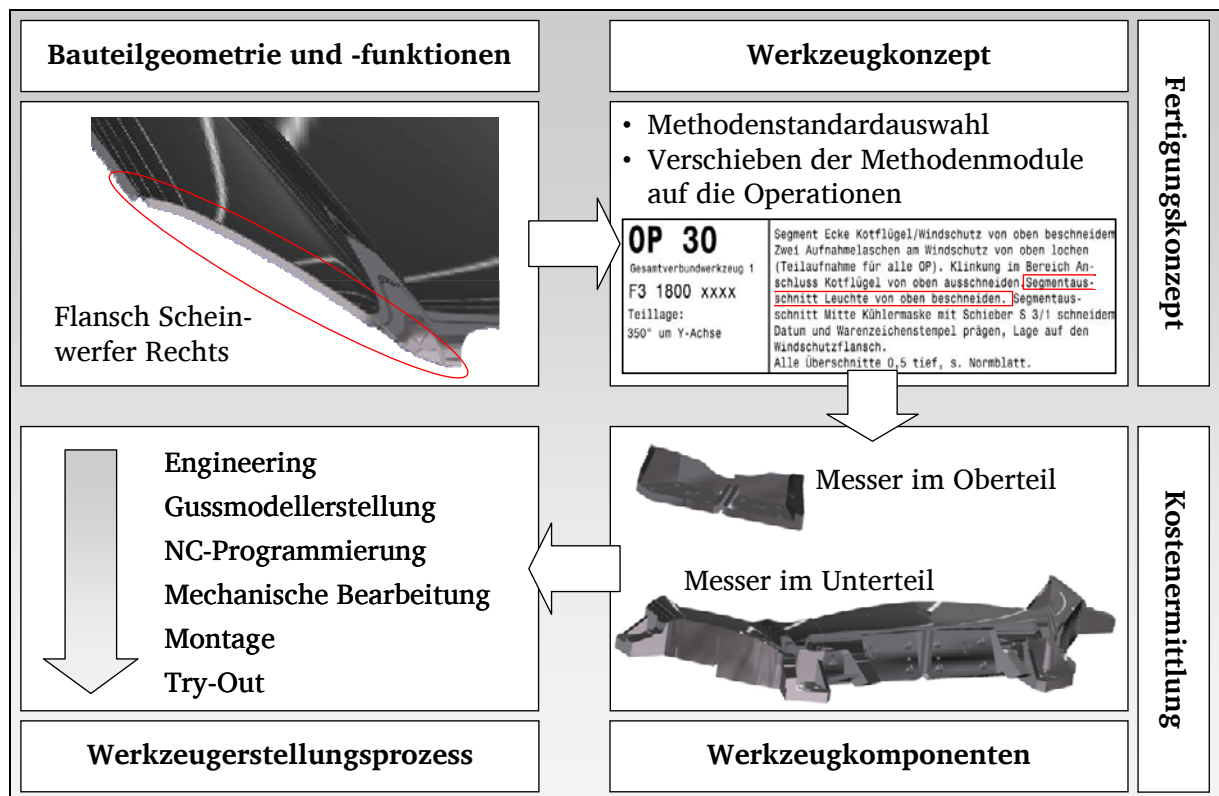


Abbildung 5.3.23: Methodik zur Werkzeugkostenkalkulation

Ausgangspunkt im dargestellten Beispiel ist das Feature „Flansch Scheinwerfer rechts“. Wie in Kapitel 5.3.2 diskutiert, muss zunächst ein Methodenstandard zur

Fertigung dieses Features ausgewählt werden, beispielsweise ein Beschnitt aus Stößelrichtung mit anschließendem Abkanten. Im Anschluss erfolgt die Verteilung der methodischen Inhalte auf die einzelnen Werkzeugstufen. Im gezeigten Beispiel ist für die Operation 30 das Beschneiden aus Ziehrichtung vorgesehen.

Die Kostenermittlung erfolgt schließlich durch Initialisieren von Werkzeugkomponenten. In diesem Fall werden Messer in Werkzeugober- und unterteil der Operation 30 mit der Länge des Features Flansch Scheinwerfer rechts erzeugt. Die Kosten dieses Messers fallen schließlich in einer generischen Prozesskette Werkzeugerstellung an. So wird beispielsweise für die Fertigung des Obermessers eine bestimmte Zeit für die NC-Programmierung und die mechanische Bearbeitung benötigt. Über Stundensätze können diese Zeiten schließlich in Kosten umgerechnet werden. Alle Kosten, die nicht direkt einem Methodenmodul respektive einer Komponente zuzuordnen sind, gehen über vordefinierte Normteipakete ein.

Ein Grundproblem der Kostenermittlung mit der vorgestellten Methode ist der frühe Zeitpunkt, in der die produktionsgerechte Produktgestaltung stattfindet. Es ist in dieser Phase des Fahrzeugentwicklungsprozesses noch nicht fest gelegt, welche Werkzeuge im OEM-eigenen Betriebsmittelbau gefertigt werden und welche von einem externen Werkzeugbau übernommen werden. Dementsprechend handelt es sich um technische Kosten der Werkzeuge ohne Berücksichtigung des Marktfaktors.

5.3.4 Abgleich mit Zielkosten

Zur Ermittlung der Teilekosten müssen lediglich die Werkzeug-, die Fertigungs- und die Materialkosten addiert werden. Als letzter Schritt erfolgt schließlich der Abgleich der Zielkosten mit den Teilekosten. Die Zielkosten werden im Vorfeld des Fahrzeugentwicklungsprojektes ermittelt. Über entsprechende Marktuntersuchungen wird analysiert, wie viel der Kunde bereit ist, für das Auto zu bezahlen. Anschließend werden die Zielkosten bis auf die Bauteilebene herunter gebrochen.

Diese Zielkosten stellen eine der in Kapitel 5.3.2 dargestellten Prämissen für die Erstellung des Fertigungskonzeptes dar. Der Abgleich der Kosten erfolgt schließlich automatisiert im relationalen Planungsdokumentationssystem. Sind die geplanten Kosten kleiner oder gleich den Zielkosten, so wird das bewertete Fertigungskonzept für den jeweiligen Zeichnungsgeometriestand als gültig definiert.

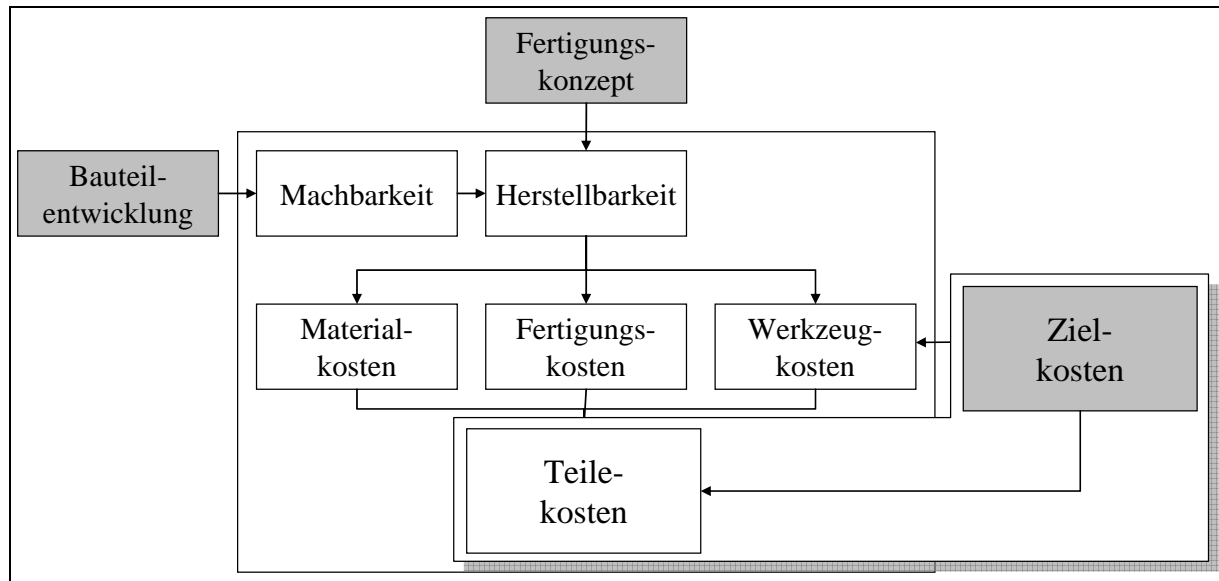


Abbildung 5.3.24: Abgleich der Teilekosten mit den Zielkosten

Liegen die Teilekosten jedoch über den Zielkosten, muss ein iterativer Optimierungsprozess gestartet werden. Mit der Einordnung einer derartigen Optimierung beschäftigen sich die folgenden Abschnitte.

5.4 Integration in den Planungsprozess

Nachdem in den vorherigen Kapiteln die einzelnen Schritte der Planungsmethodik IMPRESS vorgestellt wurden, soll im Folgenden die Integration in den Planungs- und Entwicklungsprozess gezeigt werden.

Hierzu wird in zwei Schritten vorgegangen. Zunächst soll die Integration der Planungsmethodik in den Entscheidungsprozess diskutiert werden. Über ein Flussdiagramm wird dabei der iterative Prozess der produktionsgerechten Produktgestaltung mit Hilfe der Methodik IMPRESS visualisiert. Im Anschluss soll auch die zeitliche Einordnung in den Entwicklungsprozess dargestellt werden. Als Basis hierfür dient ein generischer Fahrzeugentwicklungsplan, der in einzelne Quality Gates (QG) zeitlich unterteilt ist.

Integration in den Entscheidungsprozess

Nachdem in den Kapiteln 5.3.1 bis 5.3.5 die einzelnen Schritte der Methodik IMPRESS vorgestellt wurden, wird im Folgenden auf den Zusammenhang der Bausteine zueinander eingegangen. Am Start des Prozesses der produktionsgerechten Produktgestaltung steht die Bauteilentwicklung. Hat das zu beplanende Bauteil einen

Stand erreicht, zu dem erste Bewertungen von den Planungsabteilungen angefordert werden können, beginnt die Prozesskette mit der Machbarkeitsanalyse. Den Ablauf des Entscheidungsprozesses in der Presswerkplanung zeigt **Abbildung 5.4.1**.

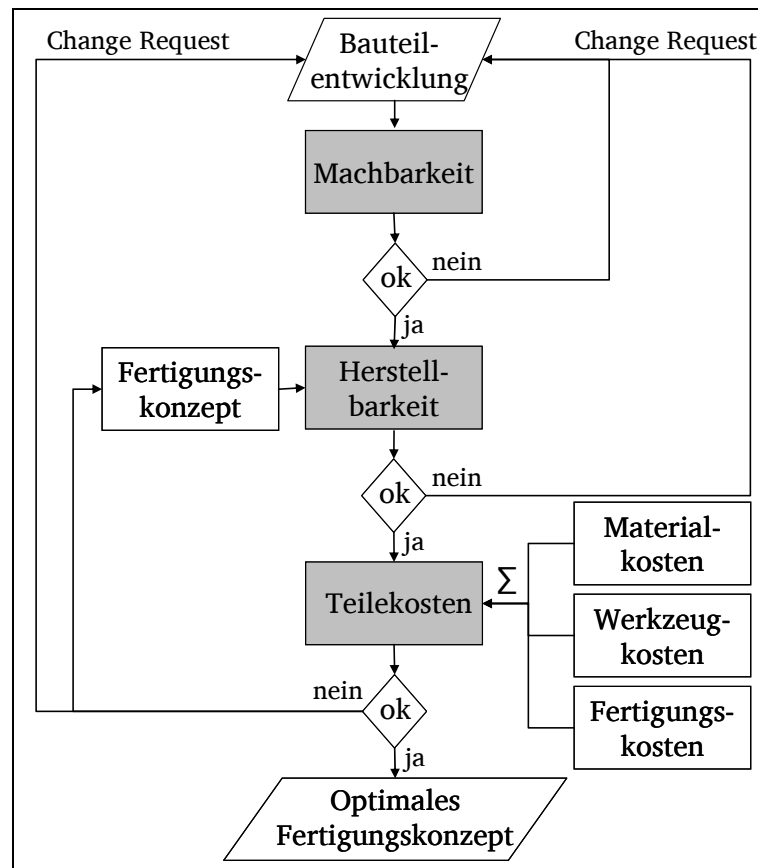


Abbildung 5.4.1: Integration in den Entscheidungsprozess

Ist die Machbarkeit nicht gegeben, beispielsweise weil die inkrementelle Simulation zeigt, dass das Bauteil bereits bei sehr geringer Blechhalterkraft reißt, muss die Presswerkplanung konstruktive Vorschläge zur Änderung der Bauteilgeometrie im Sinne eines Change Requests geben. Es wird eine Iterationsschleife durchlaufen.

Hat die Geometrie letztendlich einen Stand erreicht, nach dem das Bauteil prinzipiell umformtechnisch machbar ist, beginnt die Prüfung der Herstellbarkeit. Der Eingangsparameter für die sinnvolle Analyse der Herstellbarkeit ist das Fertigungskonzept. Gibt es keine Kombination von Serienfertigungsparameter, mit denen das Bauteil zu fertigen ist, muss erneut eine Iterationsschleife mit der Bauteilentwicklung durchlaufen werden. Das Bauteil ist dann zwar prinzipiell umformtechnisch machbar. Unter den Limitationen des Serienprozesses ist das Teil jedoch nicht herstellbar. Auch hier reicht es nicht aus, nur die Herstellbarkeit zu prüfen, vielmehr

muss die Planungsfraktion Vorschläge zu einer produktionsgerechteren Bauteilgestalt geben.

Ist zuletzt eine Kombination aus Serienfertigungsparametern gefunden, zu denen auch die Herstellbarkeit gegeben ist, beginnt die Analyse der Teilekosten. Hierzu müssen alle drei Kostenblöcke, bestehend aus den Materialkosten, den Fertigungskosten und den Werkzeugkosten, ermittelt werden. Dies geschieht nach den vorgestellten Werkzeugen der neuen Planungsmethodik. Die Aufsummierung der Kostenblöcke ergeben schließlich die durch den Serienfertigungsprozess direkt beeinflussten Kosten, die für ein Endergebnis mit den Umlagekosten verrechnet werden.

Der Abgleich der geplanten Teilekosten zu den geforderten Zielkosten bestimmt schließlich die weitere Vorgehensweise. Liegen die Teilekosten über den Zielkosten beginnt ein zweistufiger Iterationsprozess. Zunächst muss in einer internen Schleife geprüft werden, ob eine andere Parameterkombination im Fertigungskonzept zu niedrigeren Teilekosten führt. Erst wenn kein kostengünstigeres Serienkonzept gefunden werden kann, muss die Kostenanalyse schließlich in einen Change Request für das Bauteil münden. Dieser zweistufige Iterationsprozess wird schließlich so lange durchlaufen, bis die Teilekosten unter den Zielkosten liegen.

Zeitliche Einordnung in den Planungs- und Entwicklungsprozess

Abbildung 5.4.2 zeigt die zeitliche Einordnung der Planungsmethodik in den Fahrzeugentwicklungsprozess. Als Basis wurde ein generischer Fahrzeugentwicklungsprozess der Mercedes Car Group gewählt, der durch Quality Gates aufgeteilt ist.

Im Rahmen des so genannten Mercedes Development System beschreiben die Quality Gates bestimmte Zeitpunkte im Planungs- und Entwicklungsprozess, zu denen definierte Endprodukte in der Prozesskette fertig gestellt sein müssen. Die Gates sind nach den Buchstaben A bis J rückwärts nummeriert, wobei die dem Fahrzeugprojekt voranschreitende Strategiephase etwa sechseinhalb Jahre vor dem Job Number One startet. Der Job Number One kennzeichnet dabei den Zeitpunkt an dem das erste regulär produzierte Automobil die Montagelinie verlässt. Typischerweise liegt dieser Termin ungefähr drei Monate vor der Markteinführung des Fahrzeugtyps.

Das Fahrzeugprojekt selbst kann grundsätzlich in vier Phasen eingeteilt werden. In der Fahrzeugkonzeptphase werden erste Konzepte erstellt. Für den Karosserieaufbauprozess bedeutet dies insbesondere die Aufteilung der aus dem Designbereich gelieferten Flächen in einzelne Außenhautbauteile. Zudem müssen aus Gründen der Crashesicherheit und Steifigkeit zu den großflächigen Beplankungsteilen stabilisierende Innen- und Strukturteile hinzugefügt werden.

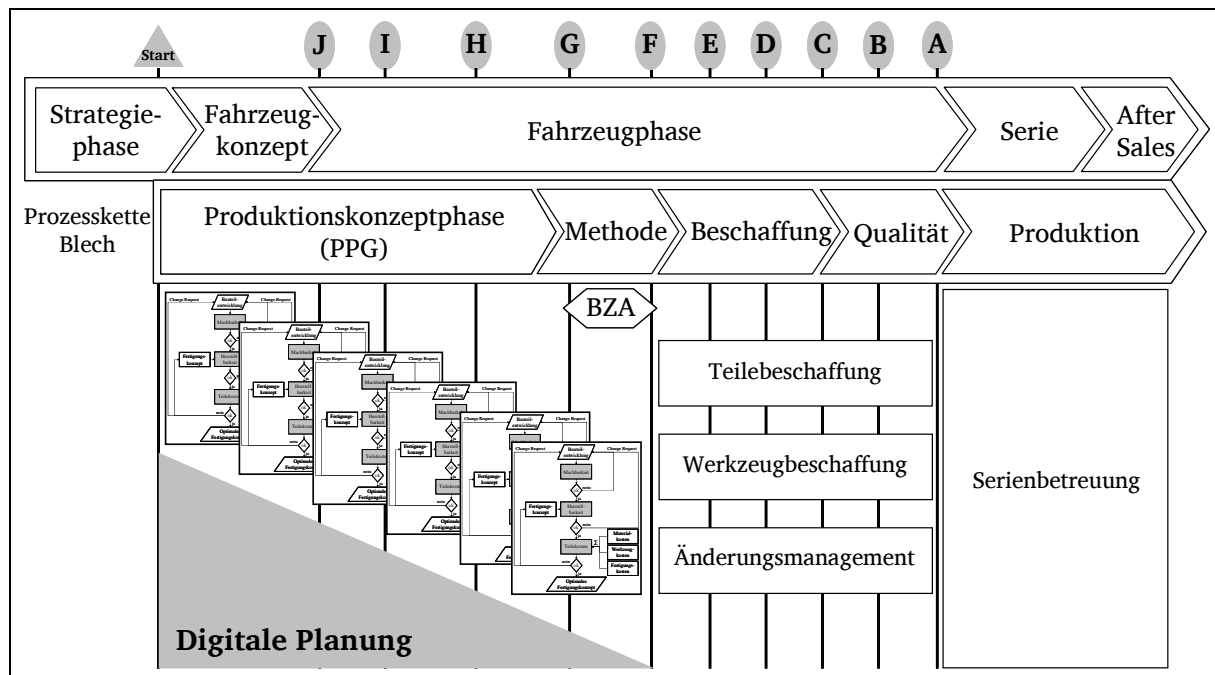


Abbildung 5.4.2: Zeitliche Einordnung im Fahrzeugentwicklungsprozess

Mit je mehr einzelnen Bauteilen hier die Außenhaut hergestellt wird, desto prinzipiell einfacher werden auch die Bauteilgeometrien. Die Kosten für das Abpressen der Teile werden folgerichtig tendenziell geringer. Es sind jedoch durch die inhärente Erhöhung der benötigten Fügeverbindungen negative Effekte für die Rohbaufertigungskosten zu erwarten. Eine ganzheitlich optimale Kostenauslegung erfordert also auch insbesondere in dieser frühen Phase die Kosten verschiedener Fahrzeugkonzeptszenerarien in der Prozesskette Blech schnell und zuverlässig zu ermitteln sowie eine produktionsgerechte Produktgestaltung zu betreiben. Die Prozesskette Blech beginnt daher bereits in der Fahrzeugkonzeptphase mit dem Baustein der Produktionskonzeptphase. Die Planungsmethodik greift in dieser Phase bereits sehr stark ein. Visualisiert sind der Eingriffszeitraum sowie die Relevanz der Planungsmethodik in der Abbildung 5.4.2.

Im Anschluss an die Fahrzeugkonzeptphase folgt die eigentliche Fahrzeugphase. Hier werden die einzelnen Bauteile weiterentwickelt beziehungsweise planerisch betreut. Im Prinzip muss der in Abbildung 5.4.1 dargestellte Prozess bei jeder Änderung an der Bauteilgeometrie oder an den Rahmenbedingungen durchlaufen werden. Zudem wurden bestimmte Termine definiert, an denen eine Gesamtkostenkalkulation des Fahrzeugs angefertigt wird. Hierfür wird festgelegt, welcher Entwicklungsstand der einzelnen Bauteile in die Bewertung einfließen soll.

Anschließend werden die Planungszahlen zu den betreffenden Bauteilständen für die Prozesskette Blech aufsummiert und an das Fahrzeugprojektmanagement weitergeleitet. Wird jede Änderung von der betreffenden Planungsrolle zeitnah analysiert und bewertet, so kann eine Ermittlung der Gesamtkosten des Fahrzeugs sehr schnell und zuverlässig vonstatten gehen. Die digitale Planungsmethodik wird deshalb bis zum Zeitpunkt der Festlegung der Bezugsarten (BZA) eingesetzt. Zu diesem Termin wird definiert, ob die Bauteile im Presswerk des Automobilherstellers oder bei einem Lieferanten abgepresst werden. Im weiteren Verlauf der Fahrzeugphase fokussiert sich die Planung sehr stark auf die Beschaffung von Bauteilen und Werkzeugen. So müssen neben der Betreuung von externen Bauteillieferanten auch Werkzeuge für die spätere Fertigung von Teilen im internen Presswerk beschafft werden. Durch entsprechende Bemusterungs- und Qualitätssicherungsverfahren muss auch die entsprechende Teilequalität insbesondere was die Einhaltung der Toleranzen angeht sichergestellt werden. Da die Aufträge mit der Festlegung der Bezugsart bereits vergeben sind, wird in diesen Phasen die Planungsmethodik nur noch für die punktuelle Bewertung von Änderungen, jedoch nicht mehr flächendeckend eingesetzt.

Der eigentliche Fahrzeugentwicklungsprozess ist mit dem Abschluss der Fahrzeugphase respektive der Qualitätsphase der Prozesskette Blech beendet. Im Anschluss folgen die Phasen Serie und After Sales. In diese Phasen, die etwa sieben Jahre parallel existieren, fällt die eigentliche Produktion der Blechteile. Auch hier findet die Planungsmethodik nur einen punktuellen Einsatz bei größeren Bauteiländerungen, beispielsweise bei anstehenden Modellpflegen, so genannten „Facelifts“.

5.5 Ergebnisse und Potenziale

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt ein Überblick über den Aufbau der Planungsmethodik gegeben wurde, sollen im Folgenden die Ergebnisse und vor

allem die Potenziale, die der Einsatz der Planungsmethodik IMPRESS bietet, dargestellt werden. Hierzu wird zunächst der wissenschaftliche Beitrag der neuen Methodik beleuchtet. Abschließend zeigt der Abschnitt 5.5.2 die für die Automobilindustrie realisierbaren Potenziale auf.

5.5.1 Wissenschaftlicher Beitrag

Der wissenschaftliche Beitrag, den die neue Planungsmethodik leistet, wird in den folgenden Punkten deutlich:

Es wurde ein neuer Ansatz zur durchgängig digitalen, integrierten Presswerkplanung entwickelt mit dem Anspruch ganzheitlich die Prozesse einer produktionsgerechten Produktgestaltung im Umfeld der Prozesskette Blech zu unterstützen. Hierfür wurden vor allem die Absicherungsmethoden der Digitalen Fabrik mit der Methode der featurebasierten Prozessketten kombiniert.

Über die Integration der Machbarkeit mit der Herstellbarkeit und den resultierenden Kosten in einer Methodik kann erstmals in kurzer Zeit eine holistische Aussage zur produktionsgerechten Produktgestaltung getroffen werden.

Durch den Einsatz von Methodenstandards und deren feste Kopplung mit Bauteilfunktionen kann das Wissen über optimale Fertigungsprozessauslegung im Sinne eines Front-Loadings prozessual nach vorne gezogen werden. Durch ein Anpassen und Erweitern dieser Standards kann die Methodik an Umfeld- oder Technologieveränderungen angepasst werden.

Mit Hilfe des Einsatzes der Methodik Featurebasierte Prozessketten können zudem die Qualität und die Effizienz von Kostenkalkulationen für Betriebsmittel verbessert werden. Durch das Kombinieren dieser Methodik mit definierten Methodenstandards werden automatisiert Vorschläge für das Fertigungskonzept gegeben.

Zudem konnte die entwickelte Methodik IMPRESS in den Entscheidungs- und Planungsworkflow der Prozesskette Blech integriert werden. Neben einer Definition der logischen Abfolge der einzelnen Bausteine der Methodik konnte zudem eine zeitliche Einordnung in den Fahrzeugentwicklungsprozess und in den Presswerkplanungsprozess gegeben werden.

Die Planungsmethodik IMPRESS verbindet die Ansätze der Digitalen Fabrik und der featurebasierten Prozessketten zu einem neuen, integrierten und durchgängigen Planungsansatz.

5.5.2 Potenziale für die Industrie

Bei einer durchgängigen Verwendung der neuen Planungsmethodik insbesondere im Rahmen der Produktionsgerechten Produktgestaltung kann ein Innovationssprung in diesem Umfeld erreicht werden. Die Planungsergebnisqualität kann, bei gleichzeitiger Reduzierung der zur Planung benötigten Zeit und der mit ihr verbundenen Kosten, verbessert werden:

Durch die Nutzung von Methodenstandards wird die Qualität von Werkzeugkostenkalkulationen gesteigert. Da die Fertigungsschritte der Standards durch bestimmte Komponenten in den Werkzeugen realisiert werden, kann durch deren Aufsummierung dieser Schritt nahezu vollständig automatisiert werden.

Zudem ist durch die Standardisierung der Arbeitsweisen eine höhere Vergleichbarkeit der Planungsergebnisse und der beplanten Szenarien gegeben. Da die gesamte Planung inklusive der betrachteten Szenarien dokumentiert und versioniert wird, kann auch im Nachhinein der Prozess der Entscheidungsfindung nachvollzogen werden.

Die digitale Durchgängigkeit über den gesamten Prozess verhindert suboptimale Fertigungskonzepte. Da nicht nur die prinzipielle Machbarkeit, sondern von Anfang an das Serienfertigungskonzept und die daraus resultierenden Kosten analysiert werden, findet eine nachhaltige Optimierung statt.

Durch eine systematische Unterstützung der produktionsgerechten Produktgestaltung innerhalb der Gesamtprozesskette Blech wird in einer frühen Fahrzeugentwicklungsphase sicher gestellt, dass nicht nur ein optimaler Fertigungsprozess gefunden wird, sondern auch die Bauteilgeometrien fertigungstechnisch optimal gestaltet sind.

Die dargestellten Potenziale zeigen, dass die im Kapitel 5.1 definierten Ziele für die neue Planungsmethodik erreicht werden konnten. Durch einen Einsatz der ganzheitlichen Methodik können so nachhaltig positive Effekte für die Automobilindustrie realisiert werden.

5.6 Zusammenfassung des Kapitels

Das Kapitel 5 stellte die Planungsmethodik IMPRESS vor, indem zunächst die Ziele erläutert wurden, die mit der neuen Methodik verfolgt werden. Im Anschluss wurden wichtige Begriffe für das Verständnis der Planungsmethodik, wie beispielsweise die Machbarkeit oder die Herstellbarkeit, definiert. In den folgenden Abschnitten wurde auf die einzelnen Bausteine der Methodik eingegangen.

Anschließend wurde auf die Integration der Methodik in den Planungs- und Entwicklungsprozess eingegangen. Durch die Verwendung eines Flussdiagramms wurden die logischen Zusammenhänge dargestellt. Die zeitliche Einordnung in den Fahrzeugentwicklungsprozess und den Presswerkplanungsworkflow konnte mit Hilfe eines generischen Quality Gate-Zeitplans visualisiert werden. Im letzten Abschnitt wurden schließlich die Ergebnisse und die Potenziale herausgestellt und zusammengefasst.

6 Validierung anhand eines Business Cases

Nachdem in Kapitel 5 die neue Planungsmethodik IMPRESS dargestellt wurde, soll im Folgenden die Validierung anhand eines Beispiels erfolgen. Ziel ist es, die Anwendung der Methodik im Umfeld der Automobilindustrie zu demonstrieren. Dabei liegt der Fokus vor allem auf der Anwendbarkeit im Rahmen der produktionsgerechten Produktgestaltung innerhalb der Prozesskette Blech. Anhand eines typischen Karosserieaufbaublechteils soll die dargestellte Planungskette durchlaufen werden. Hierzu soll zunächst

- in Kapitel 6.1 die Ziele und die Vorgehensweise gezeigt,
- in Kapitel 6.2 der Software-Prototyp vorgestellt,
- in Kapitel 6.3 eine erste Alternative generiert,
- in Kapitel 6.4 eine zweite Planungsalternative aufgebaut,
- in Kapitel 6.5 die Alternativen bewertet und schließlich
- in Kapitel 6.6 das Kapitel zusammengefasst werden.

6.1 Überblick und Rahmenbedingungen

6.1.1 Vorgehensweise

Zunächst soll der Software-Prototyp, der auf Basis der neuen Planungsmethodik IMPRESS entstanden ist, diskutiert werden. Anschließend wird das zur Validierung verwendete Bauteil vorgestellt und eingeordnet.

Für die Validierung sollen zwei Alternativen zur Planung des Beispielteils aufgebaut werden. Dabei orientiert sich die Vorgehensweise am Grundaufbau der Planungsmethodik, wie er in Kapitel 5 vorgestellt wurde. **Abbildung 6.1.1** zeigt nochmals das grundsätzliche Vorgehen. Zunächst erfolgt für jede der beiden Planungsalternativen eine Machbarkeitsanalyse. Anschließend werden das Fertigungskonzept geplant und die Herstellbarkeit abgesichert sowie die resultierenden Kosten ermittelt.

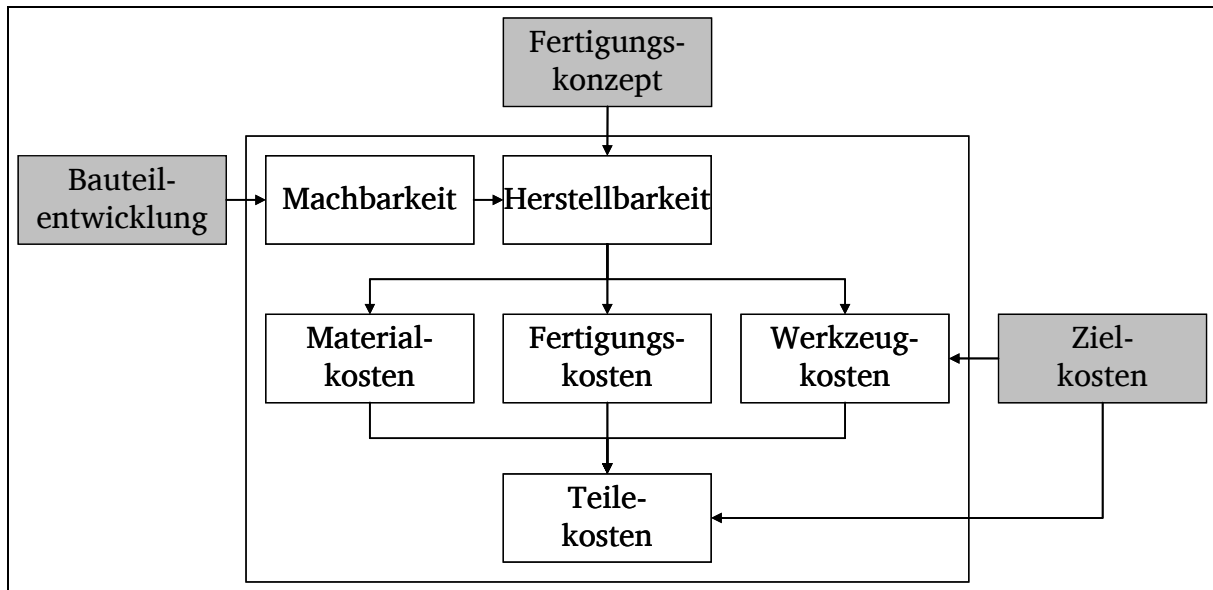


Abbildung 6.1.1: Vorgehensweise zur Validierung

Neben den Material- und den Fertigungs- sind dies insbesondere die Werkzeugkosten. Im Anschluss an die Kostenermittlung erfolgt schließlich ein Vergleich der beiden Planungsalternativen mit einer Empfehlung zum Fertigungskonzept. Bei den Ausführungen und Berechnungen, die sensible, unternehmensspezifische Daten betreffen, beispielsweise bei Preisen oder Kosten, wurden entsprechende fiktive Annahmen getroffen.

6.2 Business Case

6.2.1 Software-Prototyp

Zur Realisierung der Methodik im Rahmen eines Software-Prototyps wurde als Basis die FEM-Simulationssoftware der Firma AutoForm Engineering gewählt. Im Rahmen der Promotion und des Teilprojektes „Bauteilgeometrieorientierte Werkzeugkostenkalkulation“ wurde die Software um ein Modul zur Vervollständigung der Kostenbausteinermittlung erweitert.

Die Softwarereihe AutoForm deckt das Spektrum der Simulation in der Prozesskette Blech ab. Basierend auf Bauteil- und Werkzeuggeometrien können Simulationen durchgeführt werden, um alternative Designstudien zu bewerten sowie die umformtechnische Machbarkeit zu analysieren, oder um im Rahmen der Werkzeugentwicklung die Prozessauslegung zu unterstützen. Somit kann die Software im gesamten Entwicklungs- und Planungsprozess auf breiter Basis von Presswerkablauf-

und Methodenplanern eingesetzt werden. Eine Stärke der Software ist die logische Struktur, die den Planer vom Import der CAD-Daten bis hin zur Erzeugung der Wirkflächen führt. So können innerhalb eines Tages verschiedene Methoden und Werkzeugkonzepte erzeugt und bewertet werden [Obe06].

Die Simulationssoftware AutoForm bietet eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten in der Prozessentwicklung und ist dank des modularen Aufbaus beliebig erweiterbar und anpassbar. Im Folgenden sollen einige Schlüsselfunktionalitäten genannt werden:

- Unterstützung für die schnelle Erstellung von Werkzeugwirkflächen zu Simulationszwecken
- Schnelle Abwicklung von Platinen inklusive einer Möglichkeit zur Verschachtelung am Coil
- Inkrementelle FEM- und One-Step-FEM-Simulation basierend auf der Bauteil- oder Werkzeuggeometrie
- Berechnung und Kompensation der Rückfederung

Die Bausteine, die für die Methodik IMPRESS verwendet wurden, sind insbesondere die inkrementelle Simulation für die Analyse der Machbarkeit, die Software-Lösung zur Materialkostenermittlung sowie der beschriebene Prototyp zur Prozessplanung und Werkzeugkostenkalkulation.

6.2.2 Verwendetes Bauteil: Konsole Federbein

Zur Validierung des Gesamtkonzeptes wird mit der Konsole Federbein der aktuellen Limousine der Mercedes-Benz C-Klasse ein typisches Karosserieaufbauteil verwendet. **Abbildung 6.2.1** zeigt den Zusammenbau des Federbeins auf der linken Fahrzeugseite sowie das verwendete Teil „Konsole oben links“.

Das Bauteil besteht aus dem Werkstoff H260BD, ein kalt gewalzter Bake-Hardening-Stahl. Dieser Stahl zählt zu den hochfesten Güten und weist nach einer Wärmeeinwirkung im Bereich von 170 °C bei einer Haltedauer von 20 Minuten eine Streckgrenzenerhöhung auf, was als Bake-Hardening-Effekt bezeichnet wird [DIN-10027-1, S. 16]. Zudem ist das Bauteil beidseitig elektrolytisch verzinkt, besitzt eine

Blechdicke von 2,5 mm und gehört zur Klasse der Innenteile. Das Teil verfügt über eine Bauteiltiefe von etwa 150 mm, ist etwa 320 mm lang und 260 mm breit.

Da das Federbein auf der anderen Fahrzeugseite über dieselbe Gestalt verfügt, wird für den Zusammenbau des rechten Federbeins die Konsole gespiegelt. Das heißt, die Bauteilkonstruktion erfolgt nur für das linke Bauteil, welches als einziges physisch gespeichert wird.

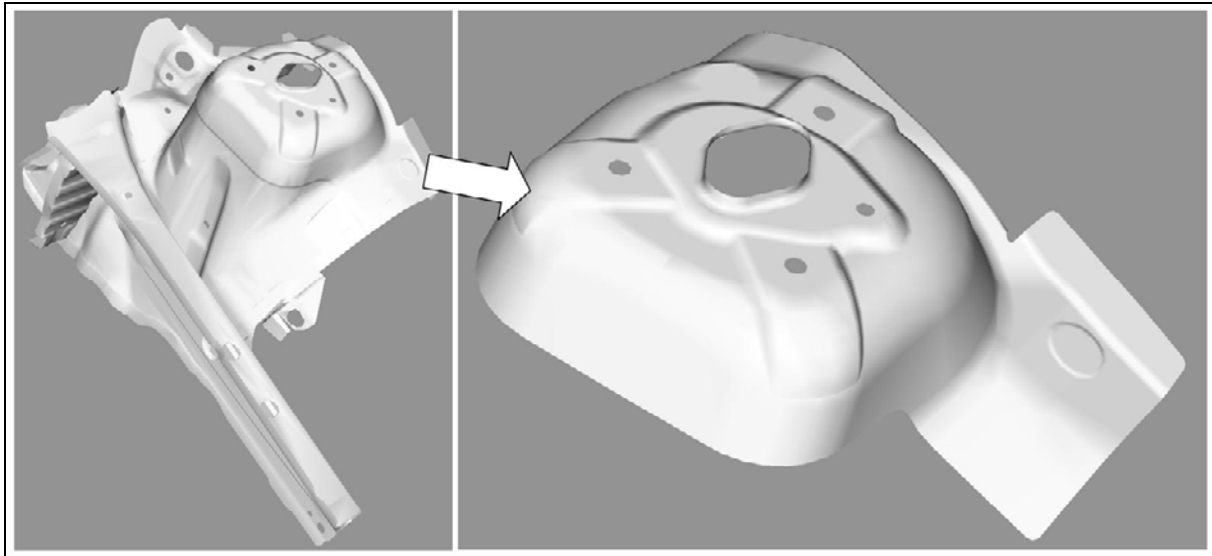


Abbildung 6.2.1: Verwendetes Bauteil Federbein oben

Da es sich um symmetrische Bauteile handelt, die jeweils einmal pro Fahrzeug benötigt werden, macht es Sinn, über eine Doppel- oder Vierfachzusammenlegung nachzudenken. Aus diesem Grund wird insbesondere der Stellhebel der Zusammenlegung in den angestellten Untersuchungen variiert.

6.2.3 Rahmenbedingungen der Planung

Im Folgenden sollen die Rahmenbedingungen, welche die Basis für die Planung des Bauteils bilden, vorgestellt werden. Angelehnt an Kapitel 5.3.2 werden kurz Basisfaktoren, wie beispielsweise Projektziele, Materialpreise oder Maschinensätze diskutiert. Da es sich insbesondere dabei um sensible, unternehmensspezifische Daten handelt, werden für die weiteren Untersuchungen fiktive Werte angenommen.

Verfügbarer Maschinenpark

Zur Fertigung des verwendeten Bauteils stehen die Maschinen der Großpresswerke der DaimlerChrysler AG an den Standorten Sindelfingen und Bremen zur Verfügung.

In **Abbildung 6.2.2** ist exemplarisch der Bebauungsplan eines Presswerkes am Standort Sindelfingen dargestellt. Im Plan ist ersichtlich, dass das Presswerk über vier Platinenschneidanlagen, drei konventionelle Pressenstraßen und fünf Transferpressen verfügt. Unter den fünf Transferpressen sind zwei, die direkt über den Blechcoil beschickt werden können und als Folgeverbundpressen bezeichnet werden, drei greifermechanisierte, eine saugerbalkenmechanisierte und eine Crossbarsaugertransferpresse.

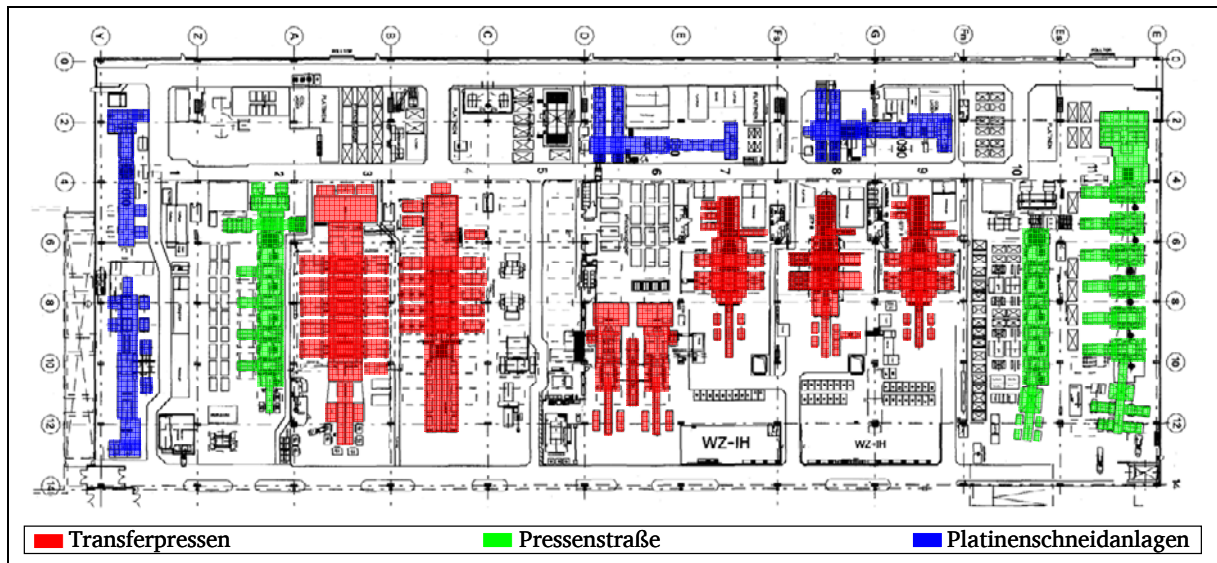


Abbildung 6.2.2: Bebauungsplan eines Großpresswerkes der DC AG

Alle in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Mechanisierungsarten sind also vorhanden, weshalb dieses Presswerk als Basis für die Validierung verwendet werden soll.

Materialpreise

Für die Materialpreise wird die in **Abbildung 6.2.3** dargestellte, fiktive und von der Blechbandbreite abhängige Preiskurve angenommen. Bei einer Coilbreite von beispielsweise 670 Millimetern kostet das Material demnach 830 Euro pro Tonne. Die Schrotterlöse werden für die folgenden Untersuchungen zu 200 Euro pro Tonne angenommen.

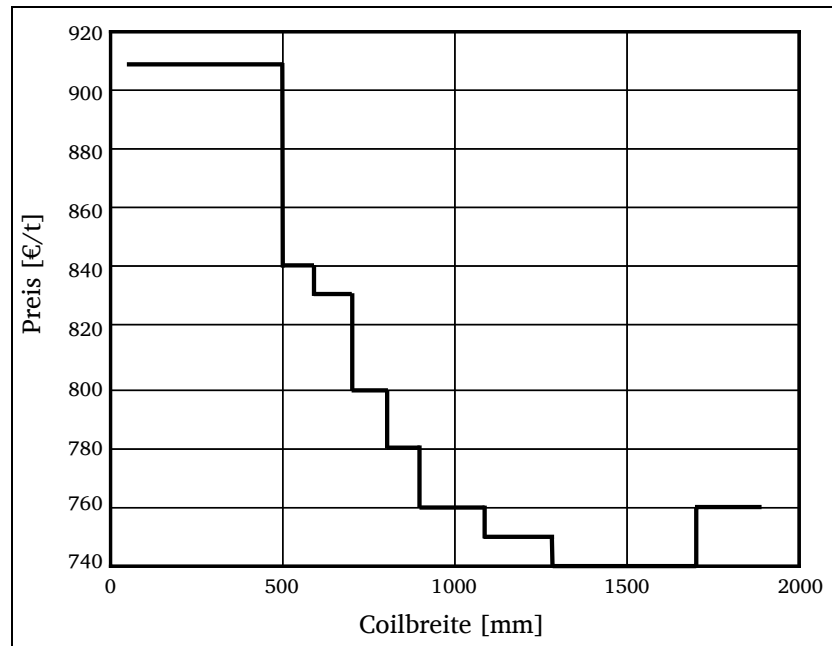


Abbildung 6.2.3: Fiktive Materialkosten abhängig von der Coilbreite

Maschinensätze

Analog zu den Materialpreisen werden auch für die Maschinensätze fiktive Stundensätze zu Grunde gelegt. Wie in Kapitel 5.3.3 dargestellt, bestehen diese Maschinenstundensätze unter anderem aus Umlagen für die Abschreibungen der Pressen, für die Instandhaltung sowie für die direkten Lohnkosten.

Für die erste Alternative, die Fertigung auf einer Greifertransferpresse mit einer Tischbreite von 2500 und einer Tiefe von 1500 Millimetern, wird ein Maschinenminutensatz von 18 Euro pro Minute angenommen. Der Minutensatz der für die zweite Planungsalternative verwendeten großen, robotermechanisierten Pressenstraße beträgt 16 Euro pro Minute. Für die Platinenschneidanlage wird pauschal ein Wert von 10 Euro pro Minute angenommen.

Hubzahlen

Die technisch maximale Hubzahl der Transferpresse liegt bei 18 Hub pro Minute, die der robotermechanisierten Pressenstraße bei 12 Hub pro Minute. Die in der späteren Fertigung tatsächlich erreichbaren Hubzahlen werden über Vereinbarungen mit dem Presswerk ermittelt. Für die weiteren Ausführungen soll von fiktiven Hubzahlen ausgegangen werden. Die Transferpresse wird mit einer geplanten Hubzahl von 14 Hub pro Minute und die Pressenstraße mit 8 Hub pro Minute veranschlagt. Für die Hubzahl der eingesetzten Platinenschneidanlagen werden anstatt der technisch

möglichen 40 Hub pro Minute für die weitere Planung 18 Hub pro Minute angenommen.

	Hubzahl technisch	Hubzahl geplant	Maschinenminutensatz
Greifertransferpresse	18 [1/min]	12 [1/min]	18 [€/min]
Pressenstraße	12 [1/min]	8 [1/min]	16 [€/min]
Platinenschneidanlage	40 [1/min]	18 [1/min]	10 [€/min]

Abbildung 6.2.4: Eingangsparmeter aus dem Presswerk

Abbildung 6.2.4 zeigt nochmals eine Zusammenfassung der beschriebenen Hubzahlen und Maschinensätze für die relevanten Maschinen.

Projektziele

Eine weitere Randbedingung für die Planung sind die Projektziele. Von großer Bedeutung ist vor allem die geplante Ausbringungsmenge. Da das Bauteil Konsole Federbein nicht nur in einer Fahrzeugvariante verbaut wird, sondern auch in allen anderen geplanten Derivaten Verwendung findet, erhöht sich die Stückzahl entsprechend. Für die folgenden Untersuchungen wird von einer fiktiven, geplanten Ausbringungsmenge von 500.000 Fahrzeugen pro Jahr ausgegangen. Dies bedeutet, dass 500.000 Federbeinkonsolen für die linke und die rechte Fahrzeugseite unterschiedlicher Derivate der C-Klasse Limousine benötigt werden.

Für die Berechnung der Werkzeugkostenumlage ist zudem die Laufzeit der neuen Fahrzeugreihe wichtig. Für die folgenden Ausführungen wird von einem Produktionszeitraum von sechs Jahren ausgegangen, was durchaus eine realistische Annahme darstellt.

6.3 Planungsalternative 1

Für die erste Planungsalternative soll das Bauteil, wie in **Abbildung 6.3.1** zu sehen, symmetrisch gespiegelt als Doppelteil auf einer Greifertransferpresse geplant werden.

Im späteren Fertigungsprozess werden bei einer Wahl dieser Variante bei jedem Hub der Presse ein rechtes und ein linkes Teil der oberen Konsole des Federbeins gleichzeitig abgepresst. Die gestrichelte Linie in der Abbildung zeigt die gewählte Symmetrieachse.

Die zweite Planungsalternative sieht im Gegensatz dazu eine Vierfachteilfertigung auf einer robotermechanisierten Pressenlinie vor. Hierzu wird die in der ersten Planungsalternative gewählte Doppelteilzusammenlegung nochmals gespiegelt. So ergibt sich eine vierfachsymmetrische Zusammenlegung.

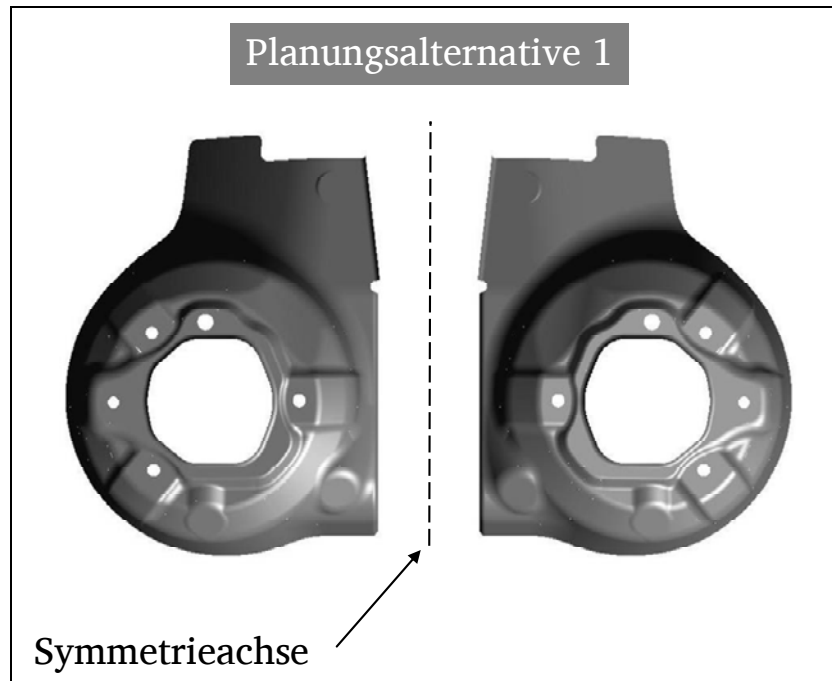


Abbildung 6.3.1: Erste Planungsalternative

6.3.1 Absicherung der Machbarkeit

Zunächst erfolgt die Absicherung der prinzipiellen Machbarkeit. Hierfür ist die wichtigste Annahme die Art des Ziehprozesses. Da es sich bei der Pressentechnologie, die für die erste Planungsalternative verwendet werden soll, um eine Großteiltransferpresse mit Greifermechanisierung handelt, basiert die Simulation auf dem einfach wirkenden Zug.

Umformsimulation mit der Finite Elemente Methode

Abbildung 6.3.2 zeigt die hierfür in der FEM-Simulationsumgebung aufgebauten Wirkflächen des Stempels, des Blechhalters, der Matrize sowie der Platine.

Bei Simulationsumgebungen der Finiten Elemente Methode wird bei symmetrischen Doppelteilen eine Symmetriebedingung im Übergangsbereich der Bauteile angenommen.

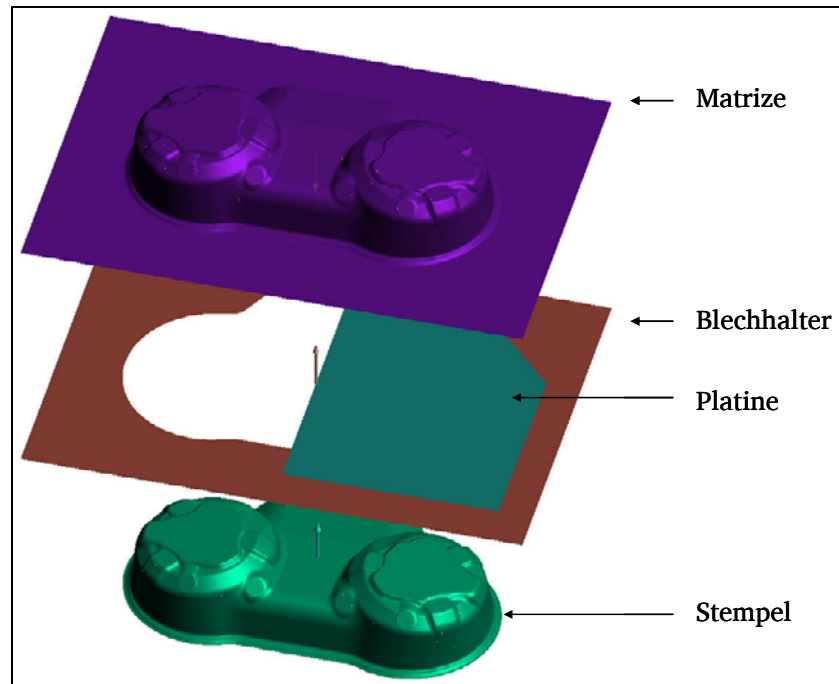


Abbildung 6.3.2: Eingangsparameter für die FEM-Simulation

Das System simuliert nur ein Bauteil, die Ergebnisse werden anschließend vom Post-Prozessor entsprechend auf das gespiegelte, symmetrische Teil übertragen.

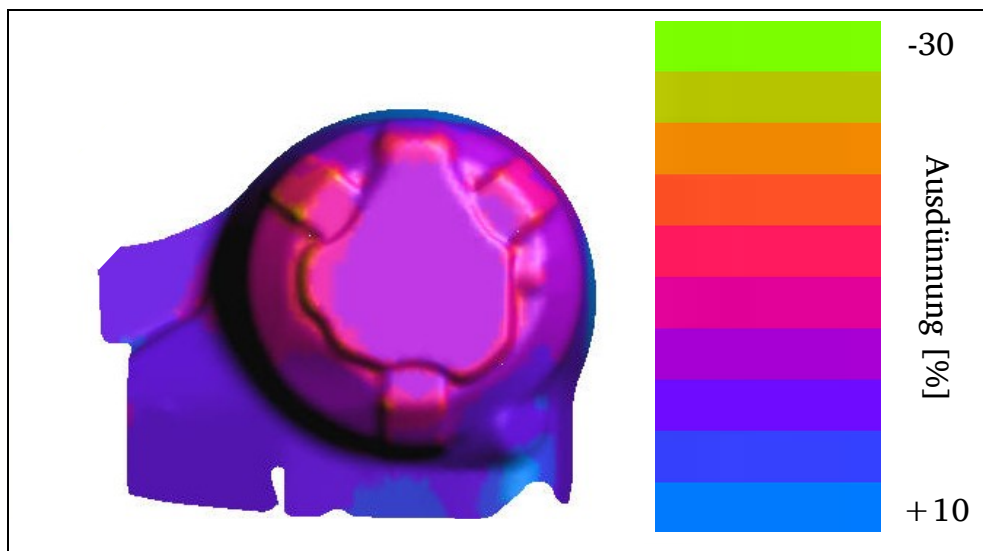


Abbildung 6.3.3: Ausdünnung als Ergebnis der FEM-Simulation

Die Ergebnisse der Umformsimulation sind in der **Abbildung 6.3.3** am Beispiel der prozentualen Ausdünnung dargestellt.

Bei der Analyse der Umformsimulation ist es nicht maßgebend, ob in der Simulation ein hundertprozentiges Gutteil errechnet wird. Viel wichtiger ist es, möglichst

schnell zu verlässlichen Aussagen zur Machbarkeit zu kommen. Hier ist insbesondere die Erfahrung der entsprechenden Planerrolle gefragt. Im Fall des napfähnlichen Bauteils der Konsole des Federbeins ist es wichtig zu sehen, wann im Ziehprozess beispielsweise Reißer im oberen Bereich des Bauteils oder die Falten im Zargenbereich entstehen.

Im vorliegenden Fall kann davon ausgegangen werden, dass eine grundsätzliche umformtechnische Machbarkeit gegeben ist.

6.3.2 Planung des Fertigungskonzeptes

Nachdem die prinzipielle Machbarkeit abgesichert ist, beginnt die Fertigungskonzeptplanung. Analog zur Abbildung 5.3.8 aus Kapitel 5.3.2 werden alle Parameter des Fertigungskonzeptes, von der Arbeitsvorgangsplanung und der Maschinenplanung über die Materialplanung bis hin zur Durchlaufplanung und der Werkzeugkonzeptplanung, mit realistischen Werten besetzt.

Arbeitsvorgangsplanung

Als erster Prozessschritt erfolgt die Arbeitsvorgangsplanung. Für die Fertigung der Federbeinkonsole sind nur die Arbeitsvorgänge Pressen und Platinenschnitt relevant. Ein zusätzlicher Arbeitsvorgang, wie beispielsweise das Waschen, ist auf Grund des Materials und der Klassifizierung der Konsole als Innenteil nicht notwendig. Im Folgenden werden deshalb die Vorgänge Pressen und Stanzen näher betrachtet, wobei das Pressen der führende Planungsstrang ist.

Maschinenplanung

Auf Grund der Bauteilabmessungen und der Maßgabe einer Doppelteiffertigung kommen nur wenige Pressentypen in Frage. **Abbildung 6.3.4** zeigt die Wahl der Produktionspresse. Bei der für die erste Alternative eingesetzten Großteiltransferpresse handelt es sich um eine greifermechanisierte, fünfstufige Pressenlinie.

Mit ihren Tischabmessungen von 2500 mm Breite und 1500 mm Länge und einer Stößelkraft in der Ziehstufe von 16000 kN ist die Transferpresse prädestiniert für eine Fertigung des Bauteils in der beschriebenen Zusammenlegung. Wichtig für den weiteren Prozess, insbesondere für die Werkzeugkonzeptplanung ist die Tatsache,

dass es sich um eine einfach wirkende Presse handelt, die eine Blechhalterkraft über eine hydraulische Zieheinrichtung aufbringt.

- Press:	4.7
Anzahl Stufen	5
Typ	GT-Press
Werk	W50
Abteilung	F4
Maschinenklasse	Transfer medium
Material	Stahl
Mechanisierung	Greifer
Rüstzeit	15 min
Inventar-Nummer	50 00 00 296083
+ Blanking press:	4.060
Stages	
- Platinenschnitt	
Presskraft	6000 kN
Stößel-/Tischlänge	3600 mm
Stößel-/Tischbreite	2500 mm
max. Werkzeugeinbauhöhe	1200 mm
- Ziehstufe	
Art	einfach wirkend
Hydraul. Zieheinrichtung	3000 kN
Stößelkraft	16000 kN
Stößellänge	2500 mm
Stößelbreite	1500 mm
Tischlänge	2500 mm
Tischbreite	1500 mm
Werkzeugeinbauhöhe	1270 mm

Abbildung 6.3.4: Pressenwahl

Die Wahl der bereits dargestellten Stanzpresse (*Blanking press*) erfolgt analog zu der in Kapitel 5.3.2 vorgestellten Methodik nach der Materialplanung, da zu diesem späteren Zeitpunkt erst klar ist, über welche Breite der Blechcoil verfügen wird.

Materialplanung

Ausgangspunkt der Materialplanung ist die gewählte Zusammenlegung. Da diese als Parameter des Fertigungskonzeptes für den Vergleich der beiden Planungsalternati-

ven variiert werden soll, findet für die erste Alternative die beschriebene Doppelteilfertigung Verwendung.

Die weitere Planung des Blechmaterials erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird eine minimale Platine ermittelt, anschließend erfolgt die Verschachtelung auf dem Blechcoil.

Die **Abbildung 6.3.5** zeigt die über eine Einschnitt-FEM-Simulation ermittelte, minimale Platine in Form des äußeren Umrisses. Die innere Linie stellt die beiden Bauteile im abgewickelten Zustand dar. Da sich bei der Umformsimulation eine Tendenz zur Faltenbildung im Zargenbereich ergeben hat und deshalb auch für eine spätere Fertigung eine höhere Rückhaltekraft notwendig ist, wird bei der One-Step-Simulation von einer mittleren Rückhaltebedingung (*Holding condition*) ausgegangen. Das Vorgehen über die Finite Elemente Methode erwies sich in der Presswerkplanungspraxis als sehr viel genauer und schneller als eine manuelle Abwicklung.

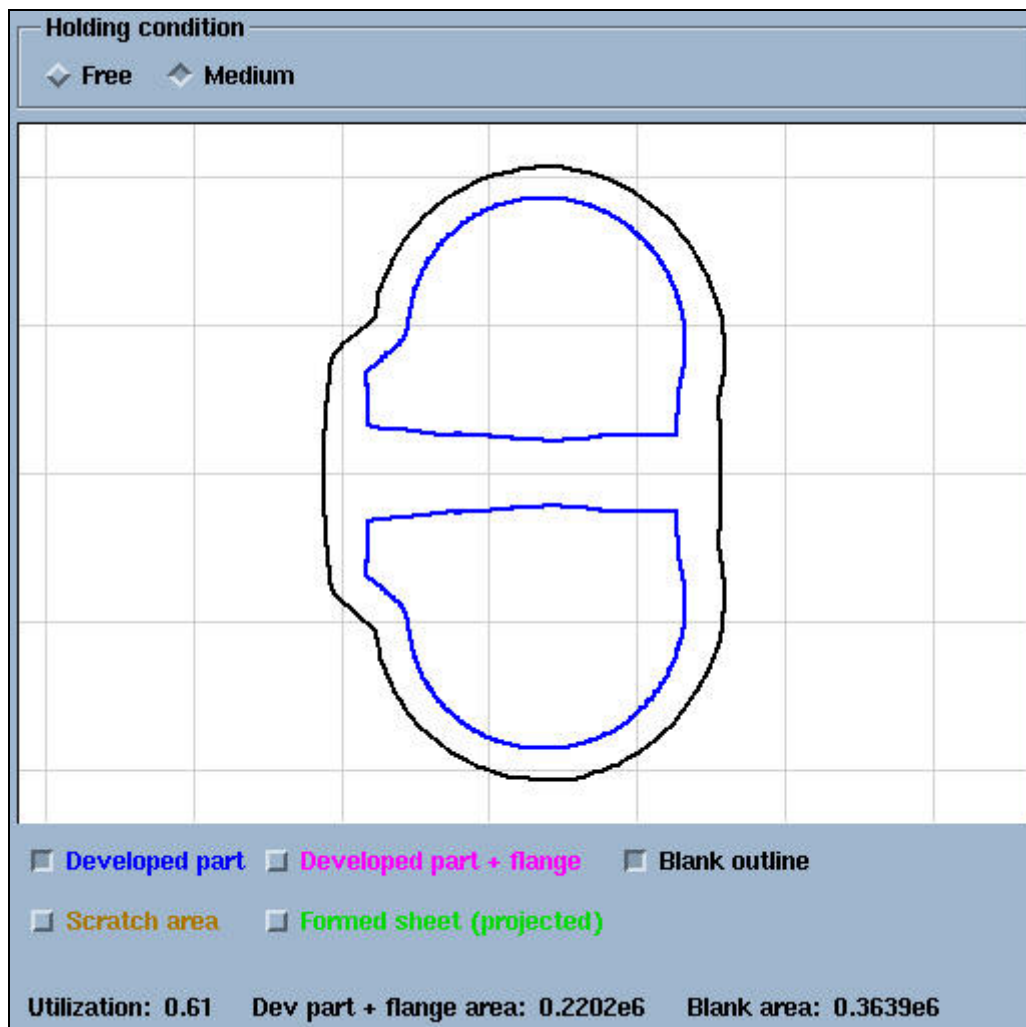


Abbildung 6.3.5: Minimale Platine

Anschließend erfolgt die Verschachtelung der Platine auf dem Blechcoil. Dabei stehen die zwei Grundvarianten einer Form- oder einer Standardplatine zur Verfügung.

Abbildung 6.3.6 stellt repräsentativ eine zweireihige Verschachtelung von Formplatinen einer einfachen Standardrechteckplatine gegenüber. Die Rechteckplatine verfügt über eine Breite von 848 mm und eine Länge von 560 mm, wobei aus Erfahrungsgründen ein Abstand von 10 mm zum Coil- beziehungsweise zum Platinenrand als Grundbedingung angenommen wurde.

Die ebenfalls in der Abbildung dargestellte, zweireihige Verschachtelung von Formplatinen erfordert eine Coilbreite von 1607 mm. Der Abschnitt, den eine Formplatine auf dem Blechcoil einnimmt, beträgt 555 mm. Der Vorschub ist kleiner als bei der Standardplatine, weil durch die Überlappung der Platinen die Entfernung zwischen den einzelnen Formplatinen auf 10 mm reduziert werden kann.

Für die weiteren Untersuchungen wird die Variante mit der zweireihigen Verschachtelung von Formplatinen gewählt. Damit muss im Rahmen der Werkzeugkonzeptplanung ein dediziertes Platinenschneidwerkzeug eingeplant werden.

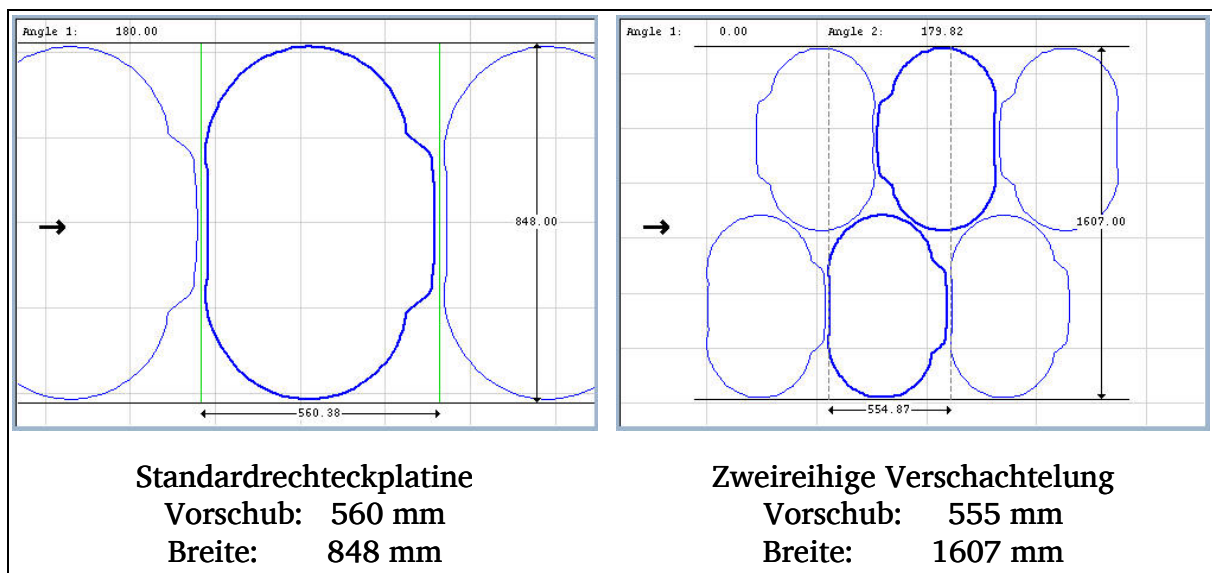


Abbildung 6.3.6: Vergleich zwischen Form- und Standardplatine

Zudem ergibt sich durch die Wahl der beschriebenen Variante auch die einzusetzende Platinenschneidanlage. Da die Coilbreite bei 1607 mm liegt, wird die in der Abbildung 6.3.4 bereits gezeigte Stanzpresse mit einer Tischbreite von 2500 mm verwendet.

Durchlaufplanung

Im Rahmen der Durchlaufplanung werden die Teilelagen für die einzelnen Werkzeugstufen und damit die Verkippung der Bauteile im Fertigungsprozess relativ zur Ziehlage festgelegt. Da bei der ersten Planungsalternative eine greifermechanisierte Transferpresse eingesetzt werden soll, kann keine maßgebende Veränderung der Teilelage während des Abpressens erreicht werden. Deshalb wird im Folgenden die für die Machbarkeitssimulation angenommene Ziehlage auch als Teillage in den Folgeoperationen übernommen.

Werkzeugkonzeptplanung

Der letzte Baustein des Fertigungskonzepts ist die Werkzeugkonzeptplanung. Hier kommt die in Kapitel 5.3.2 dargestellte, featurebasierte Methodik zur Planung des Werkzeugkonzeptes und anschließenden Kalkulation der Werkzeugkosten zum Einsatz.

Abbildung 6.3.7 zeigt die automatisch an der Geometrie der Konsole des linken Federbeins durch den Software-Prototyp erkannten Features. Der Prototyp verfügt zudem über Funktionen zur manuellen Nachbearbeitung der Features. So kann ein anderer Namen vergeben, dem Feature eine andere Klasse zugewiesen oder die geometrische Ausdehnung des Features beeinflusst werden.

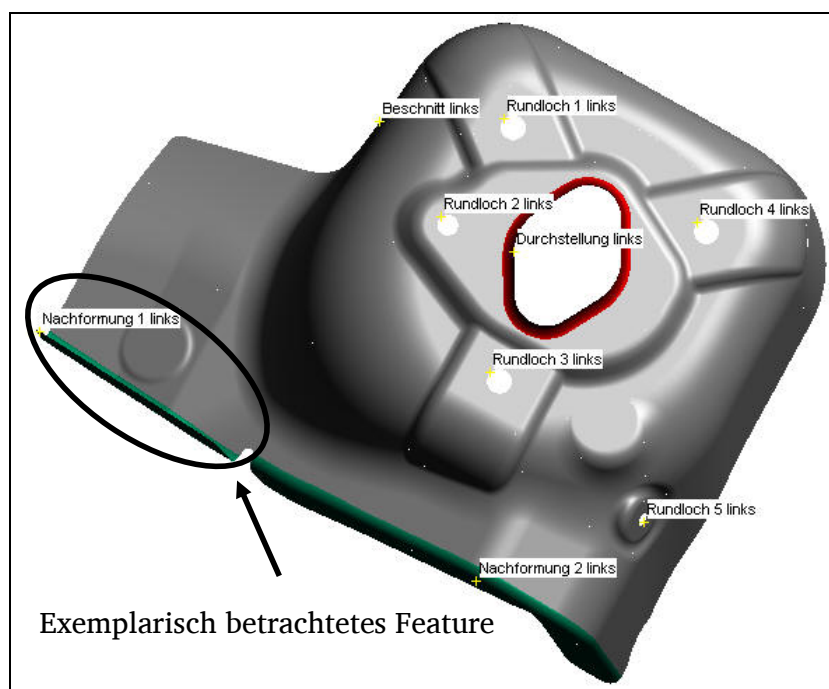


Abbildung 6.3.7: Automatisch erkannte Features

Die Gestalt jedes Features muss in einer Nachfolgeoperation durch entsprechende Werkzeugkomponenten hergestellt werden. Wie das Werkzeugkonzept weiter geplant wird, soll im Folgenden exemplarisch anhand des in der **Abbildung 6.3.7** markierten Features „Nachformung 1 links“ gezeigt werden.

In **Abbildung 6.3.8** ist die Werkzeugkonzeptplanungsoberfläche dargestellt. Auf der linken Seite ist eine Liste der in **Abbildung 6.3.7** geometrisch visualisierten, automatisch erkannten Features zu sehen. Im oberen Bereich der gezeigten Matrix sind die einzelnen in der fünfstufigen Transferpresse vorhandenen Pressenstufen inklusive des Platinenschnitts gezeigt. Dabei steht „OP1“ für das Platinenschneiden, „OP2“ für die Ziehstufe und „OP3“ bis „OP6“ für die vier Folgestufen.

Über das Auswahlmenü im unteren Bildbereich wird ein Methodenstandard selektiert. Für das Beispiel der „Nachformung 1 links“ ist der Standard „schneiden, nachformen“ mit den beiden Methodenmodulen „schneiden“ und „nachformen“ gewählt.

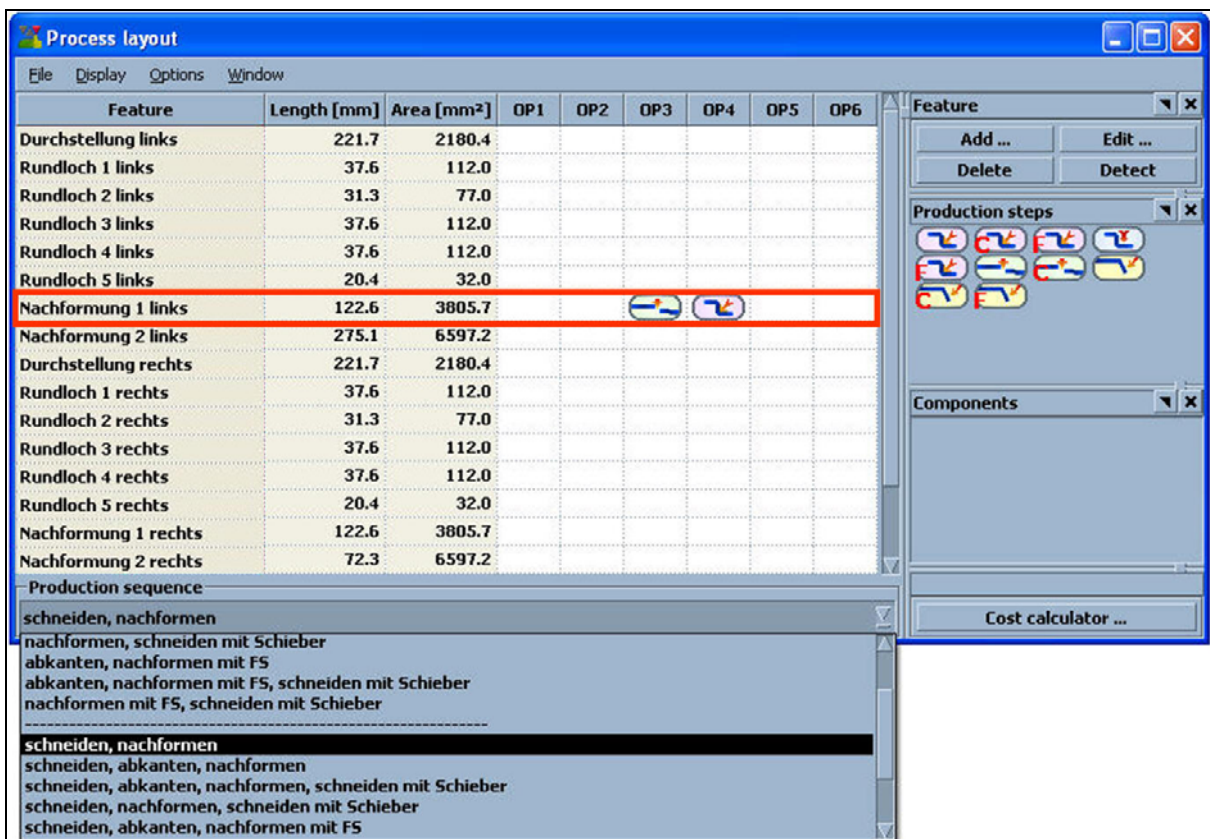


Abbildung 6.3.8: Featurebasierte Werkzeugkonzeptplanung

Die Wahl des passenden Standards erfolgt schließlich für alle erkannten Features. Sind die passenden Methodenstandards gewählt, erfolgt im Anschluss die Erstellung des Werkzeugkonzeptes, indem die einzelnen Module per Drag-and-Drop in die gewünschte Stufe gezogen werden.

Die **Abbildung 6.3.9** zeigt einen Ausschnitt des fertig geplanten Werkzeugkonzeptes. Demnach wird das Feature „Nachformung 1 links“ in der „OP4“, also der zweiten Folgestufe von oben beschnitten und in der „OP5“ hochgestellt. Für den Beschnitt werden demnach als Komponenten ein Ober- und ein Untermesser mit der Beschnittlänge des Features benötigt. Analog dazu müssen für das Hochstellen in der dritten Folgeoperation eine Aktiv- und eine Passivbacke mit der entsprechenden Fläche des Features initialisiert werden.

Feature	Length [mm]	Area [mm ²]	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6
Durchstellung links	221.7	2180.4						
Rundloch 1 links	37.6	112.0						
Rundloch 2 links	31.3	77.0						
Rundloch 3 links	37.6	112.0						
Rundloch 4 links	37.6	112.0						
Rundloch 5 links	20.4	32.0						
Nachformung 1 links	122.6	3805.7						
Nachformung 2 links	275.1	6597.2						
Durchstellung rechts	221.7	2180.4						
Rundloch 1 rechts	37.6	112.0						
Rundloch 2 rechts	31.3	77.0						
Rundloch 3 rechts	37.6	112.0						
Rundloch 4 rechts	37.6	112.0						
Rundloch 5 rechts	20.4	32.0						
Nachformung 1 rechts	122.6	3805.7						
Nachformung 2 rechts	72.3	6597.2						
Production sequence								

Abbildung 6.3.9: Ausschnitt aus dem fertigen Werkzeugkonzept

Diese Werkzeugkomponenten gehen schließlich als Faktoren in die technische Werkzeugkostenkalkulation ein.

6.3.3 Ermittlung der Kostenbausteine

Im Folgenden sollen die Kostenbausteine auf Basis des geplanten Fertigungskonzeptes ermittelt werden. Dies erfolgt mit der neuen Planungsmethodik IMPRESS durchgängig im entwickelten Software-Prototyp.

Bestimmung der Materialkosten

Ausgehend von den Ergebnissen der Materialplanung aus dem vorhergehenden Kapitel, sollen zunächst die Materialkosten ermittelt werden.

Auf Basis der fiktiven Materialkosten und Schrotterlöse, wie sie in Abschnitt 6.2.3 vorgestellt wurden, ergeben sich die Kosten für eine Standardrechteckplatte zu 6,79 Euro, für eine Formplatte in der zweireihigen Verschachtelung zu 6,11 Euro.

Das Material, das zur Fertigung eines Bauteils der Konsole Federbein links bei der gewählten Formplatte benötigt wird, kostet also gerundet 3,10 Euro.

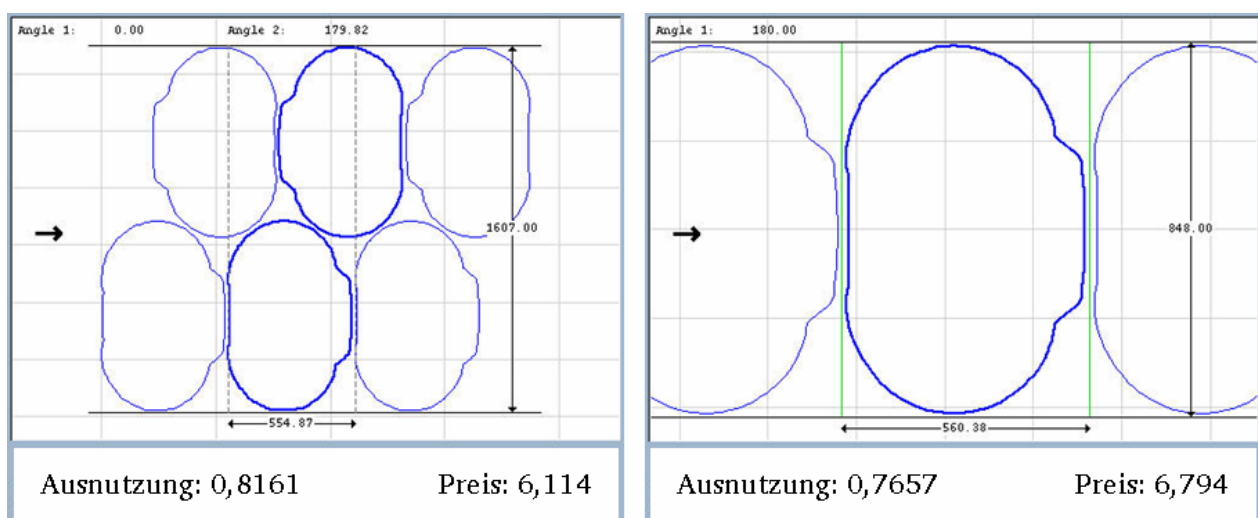


Abbildung 6.3.10: Kostenvergleich der Materialplanungsvarianten

Wie **Abbildung 6.3.10** zeigt, war die Entscheidung, wie sie zwischen beiden Varianten im vorhergehenden Kapitel getroffen wurde, nicht nur aus fertigungskonzeptspezifischen Gesichtspunkten, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht richtig.

Ermittlung der Fertigungskosten

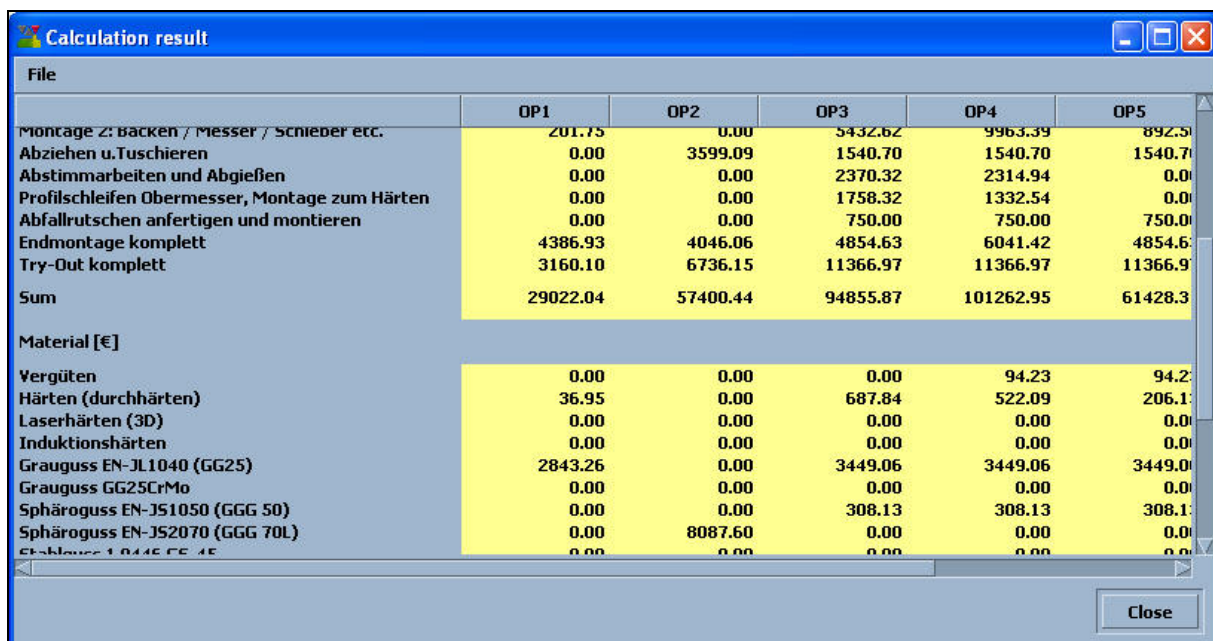
Nachdem im Software-Prototyp die Produktions- und die Stanzpresse ausgewählt wurden, können die Fertigungskosten automatisiert im relational aufgebauten Planungsdokumentationssystem ermittelt werden. Mit der fiktiven Hubzahl von 14 Hub pro Minute und den angenommenen Maschinenminutensätzen von 18 Euro pro Minute aus Kapitel 6.2.3 ergeben sich die Fertigungskosten bei dem Arbeitsvorgang Pressen für einen Hub zu gerundeten 1,29 Euro. Für das Bauteil Federbein Konsole links kann also mit 0,64 Euro gerechnet werden.

Für den Arbeitsvorgang Platinenschnitt errechnen sich mit der Annahme von 18 Hub pro Minute und dem Maschinenminutensatz von 10 Euro die Kosten für einen Hub zu 0,56 Euro. Da bei einem Hub der Presse zwei Formplatinen gestanzt werden, aus denen wiederum im Fertigungsprozess vier Bauteile abgepresst werden, ergeben sich die Platinenschnittkosten zu 0,14 Euro.

Die gesamten Fertigungskosten errechnen sich damit zu 0,78 Euro für eine Konsole Federbein links.

Kalkulation der Werkzeugkosten

Zuletzt erfolgt die Kalkulation der Werkzeugkosten, die auf der vorgestellten, featurebasierten Methodik basiert. Die Kosten der Werkzeuge bestehen aus zwei unterschiedlichen Faktoren.



	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5
Montage z: backen / Messer / Schieber etc.	201.75	0.00	5432.62	9963.39	892.50
Abziehen u. Tuschieren	0.00	3599.09	1540.70	1540.70	1540.70
Abstimmarbeiten und Abgießen	0.00	0.00	2370.32	2314.94	0.00
Profilschleifen Obermesser, Montage zum Härten	0.00	0.00	1758.32	1332.54	0.00
Abfallrutschen anfertigen und montieren	0.00	0.00	750.00	750.00	750.00
Endmontage komplett	4386.93	4046.06	4854.63	6041.42	4854.63
Try-Out komplett	3160.10	6736.15	11366.97	11366.97	11366.97
Sum	29022.04	57400.44	94855.87	101262.95	61428.30
Material [€]					
Vergüten	0.00	0.00	0.00	94.23	94.23
Härten (durchhärten)	36.95	0.00	687.84	522.09	206.10
Laserhärten (3D)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Induktionshärten	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grauguss EN-JL1040 (GG25)	2843.26	0.00	3449.06	3449.06	3449.06
Grauguss GG25CrMo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sphäroguss EN-JS1050 (GGG 50)	0.00	0.00	308.13	308.13	308.13
Sphäroguss EN-JS2070 (GGG 70L)	0.00	8087.60	0.00	0.00	0.00
Stahlwerkzeug	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abbildung 6.3.11: Ausschnitt aus den resultierenden Werkzeugkosten

Zunächst sind dies die Grundkomponenten, die in jedem Werkzeug der gleichen Klassifizierung vorhanden sind. Bei einem Ziehwerkzeug sind dies beispielsweise der Ziehstempel, die Ziehmatrize oder der Blechhalter. Da die Bauteilgeometrie bekannt ist und die beschriebenen Wirkflächen eben jene Geometrie darstellen sollen, ergeben sich deren Abmessungen automatisch. Andere Grundkomponenten sind bauteilunabhängig, wie beispielsweise Säulenführungen oder Gasdruckfedern.

Die zweite Faktorgruppe, welche die Werkzeugkosten beeinflusst, besteht aus den konzeptabhängigen Werkzeugkomponenten. Für das Beschneiden des Features „Nachformung 1 links“ aus Abschnitt 6.3.2 werden beispielsweise ein Ober- und ein Untermesser mit der Länge des Features sowie einer geschätzten Tiefe und Breite initialisiert.

Abbildung 6.3.11 stellt einen Ausschnitt aus den resultierenden Kosten für die beplanten Werkzeuge dar. Dahinter stehen bestimmte Annahmen zur Bearbeitungszeit. So wurde beispielsweise für ein Messer geschätzt, wie viel Zeit in den einzelnen Prozessschritten für die Herstellung der Komponente veranschlagt wird. Bei den zuvor betrachteten Ober- und Untermessern zum Beschnitt des Features „Nachformung 1 links“ bestehen diese Prozessschritte unter anderem aus der NC-Bearbeitung, der Endmontage oder der Konstruktion. Der Werkzeugprozess, wie er in Kapitel 2.2.3 dargestellt ist, wurde so weiter detailliert.

Zudem wird das für das Obermesser benötigte Rohmaterial, beispielsweise der Grauguss EN JL-1040, über die geschätzten Abmessungen ermittelt und durch Multiplikation mit der spezifischen Dichte und dem Materialpreis in Materialkosten umgerechnet.

Eine Addition aller Kosten führt schließlich zu den Werkzeugkosten pro Werkzeug und letztendlich zu den Gesamtkosten für den Werkzeugsatz. Für die weiteren Ausführungen werden Werkzeugkosten in der Höhe von 600.000 Euro für alle fünf Werkzeuge, inklusive dem Platinenschneidwerkzeug angenommen. Da bei jedem Hub der Presse im späteren Fertigungsprozess ein linkes und ein rechtes Bauteil produziert werden, errechnen sich die Werkzeugkosten zu 300.000 Euro für ein Teil.

Die Werkzeugkosten werden schließlich auf die geplanten 500.000 einzelnen Bauteile und die Laufzeit von 7 Jahren umgerechnet. Es ergibt sich damit eine Umlage von 0,09 Euro für die Konsole Federbein links.

6.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die Herstellung eines Bauteils werden, wie in **Abbildung 6.3.12** gezeigt, 3,97 Euro benötigt. In jedem Jahr fallen damit Kosten von etwa 2 Millionen Euro, über die gesamte Laufzeit des Fahrzeugtyps also 14 Millionen Euro an.

Den größten Faktor stellen die Materialkosten mit einem Anteil von 78 Prozent dar. Die Fertigungskosten gehen mit 20 Prozent und die Werkzeugkosten mit 2 Prozent in die Kalkulation an.

Für Großvolumenbaureihen wie es die aktuelle C-Klasse darstellt, ist dieses Ergebnis durchaus üblich. Bei einem Nischenmodell, wie beispielsweise einem Sports Utility Vehicle (SUV), würden sich die Größenverhältnisse prinzipiell hin zu den Werkzeugkosten und weg von den Materialkosten verschieben.

Materialkosten		3,10 €
Fertigungskosten		0,78 €
Investitionsraten		0,09 €
Herstellkosten		3,97 €

Abbildung 6.3.12: Herstellkosten der ersten Alternative

6.4 Planungsalternative 2

Als Vergleich zu der vorgestellten, ersten Planungsalternative soll im Folgenden eine zweite Planungsalternative aufgebaut werden. Hierzu wird der Parameter der Zusammenlegung verändert.

Das Bauteil „Federbein Konsole links“ soll demnach als vierfachsymmetrisches Mehrfachteil abgepresst werden. **Abbildung 6.4.1** zeigt die Zusammenlegung und die zwei Symmetrieachsen, an denen gespiegelt wird.

Im späteren Fertigungsprozess werden also bei jedem Pressenhub zwei Konsolen Federbein für die linke und zwei für die rechte Fahrzeugseite, also insgesamt vier Bauteile, produziert. Diese Annahme führt dazu, dass die Werte einiger Parameter

des Fertigungsprozesses anders besetzt werden müssen, als bei der ersten Planungsalternative.

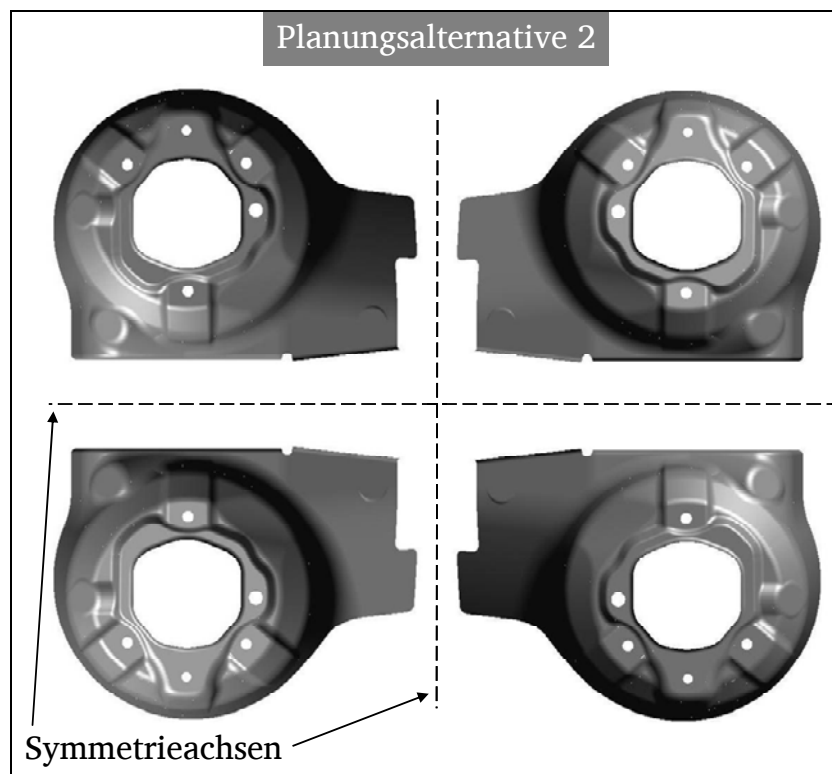


Abbildung 6.4.1: Zusammenlegung der zweiten Alternative

6.4.1 Absicherung der Machbarkeit

Da die für die zweite Planungsalternative geplante robotermechanisierte Presse über eine einfach wirkende Ziehstufe verfügt, erfolgt die Absicherung der Machbarkeit analog zu den Ausführungen in Kapitel 6.3.1. Wie bereits dort erwähnt, erfolgt die FEM-Simulation nur für ein Bauteil. Die Ergebnisse werden vom Post-Prozessor auf das gespiegelte Teil übertragen. Die prinzipielle, umformtechnische Machbarkeit kann damit auch bei der zweiten Planungsalternative als gegeben angesehen werden.

6.4.2 Planung des Fertigungskonzeptes

Nachdem die prinzipielle Machbarkeit abgesichert ist, beginnt die Planung des Fertigungskonzeptes.

Arbeitsvorgangsplanung

Analog zum Vorgehen bei der Fertigungskonzeptplanung der ersten Planungsalternative, steht als erster Schritt die Arbeitsvorgangsplanung. Ähnlich wie bei der Machbarkeitsanalyse können auch hier die Ergebnisse übernommen werden. Da sich weder am Material, noch an der Klassifizierung des Bauteils als Innenteil etwas geändert hat, müssen im Folgenden die Arbeitsvorgänge Platinenschnitt und Pressen geplant werden.

Maschinenplanung

Als nächster Prozessschritt erfolgt die Maschinenplanung. Auf Grund der angenommenen Fertigung als Vierfachbauteil, wird eine andere Presse gewählt.

<input type="checkbox"/> Press:	4.11
Anzahl Stufen	6
Typ	Pressenstrasse
Werk	W50
Abteilung	F4
Maschinenklasse	Tandem x-large
Material	Stahl
Mechanisierung	Roboter
Rüstzeit	35 min
<input type="checkbox"/> Blanking press:	4.060
Stages	
<input type="checkbox"/> Platinenschnitt	
Presskraft	6000 kN
Stößel-/Tischlänge	3600 mm
Stößel-/Tischbreite	2500 mm
max. Werkzeugeinbauhöhe	1200 mm
<input type="checkbox"/> Ziehstufe	
Art	einfach wirkend
Stößelkraft	28000 kN
Stößellänge	5000 mm
Stößelbreite	2500 mm
Tischlänge	5000 mm
Tischbreite	2500 mm
Werkzeugeinbauhöhe	1650 mm
Inventar-Nummer	50 00 00 299417

Abbildung 6.4.2: Maschinenplanung bei der zweiten Alternative

Die robotermechanisierte Pressenlinie, die in **Abbildung 6.4.2** selektiert ist, eignet sich insbesondere durch ihre größeren Tischabmessungen besser als Produktionspresse. Im Gegensatz zu der für die erste Planungsalternative gewählten Greifertransferpresse verfügt sie über eine Tischbreite von 5000 Millimetern und eine Tischlänge von 2500 Millimetern.

Zudem besteht die Pressenstraße aus einer Verkettung von sechs Einzelpressen. Damit kann das Werkzeugkonzept im Gegensatz zu der bei der ersten Planungsalternative gewählten Transferpresse aus sechs Werkzeugstufen aufgebaut sein. Werden nur fünf Werkzeuge benötigt, so kann eine Presse durch eine Zwischenablagevorrichtung für das Bauteil als so genannte Leerstation aufgebaut werden.

Materialplanung

Auch bei der zweiten Planungsalternative ist der Ausgangspunkt für die Materialplanung die Zusammenlegung. In diesem Fall basiert die Planung auf der vorgestellten vierfachsymmetrischen Fertigung.

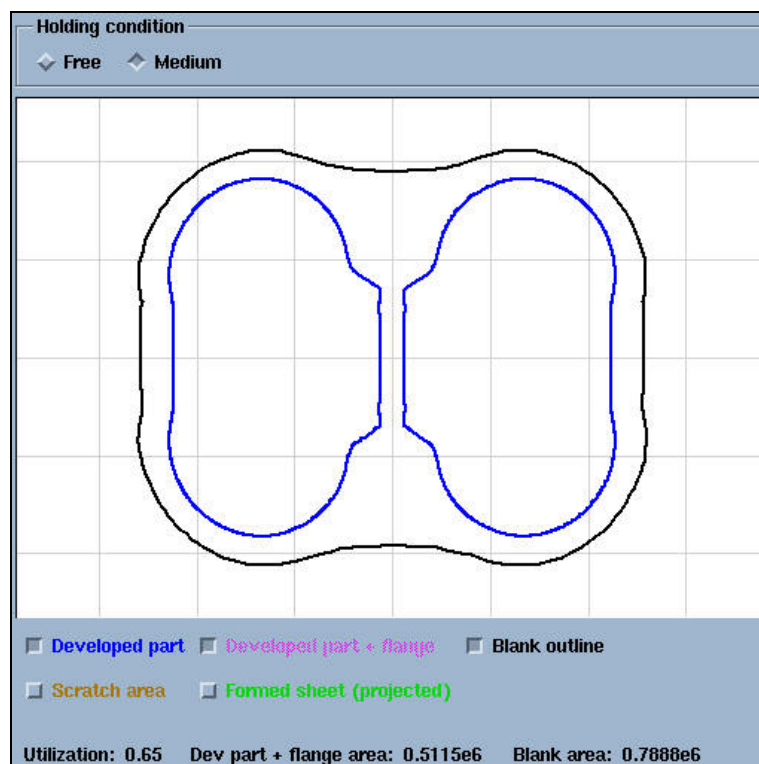


Abbildung 6.4.3: Minimale Platine für die Vierfachteilfertigung

Auf Grund dieser Ausgangsbedingung wird die minimale Platine ermittelt. Analog zu Kapitel 6.3.2 wird die Einschnitt-FEM-Simulation mit einer mittleren Rückhaltebe-

dingung angesteuert. **Abbildung 6.4.3** zeigt in Form des äußeren Umrisses das Ergebnis der Simulation. Die inneren Umrandungen stellen die in die Ebene abgewickelten Doppelteile dar.

Der zweite Prozessschritt der Materialplanung besteht in der Verschachtelung der minimalen Platine am Blechcoil. Ähnlich wie in Kapitel 6.3.2 stehen die zwei Grundvarianten der Rechteck- und der Formplatine zum Vergleich.

In **Abbildung 6.4.4** sind repräsentativ für beide Basisvarianten die Standardrechteckplatte und eine zweireihige Verschachtelung der Formplatinen dargestellt.

Die Abmessungen der Rechteckplatte sind dabei 868 Millimeter in Durchlaufrichtung und 1058 Millimeter in der Breite.

Der Abschnitt, den eine Formplatte in der zweireihigen Verschachtelung einnimmt, verfügt über eine Länge von 1057 Millimeter. Die Breite des Blechbandes beträgt bei dieser Variante 1695 Millimeter.

Vergleicht man die Abmessungen der Rechteckplatte bei der vierfachsymmetrischen Zusammenlegung mit der ersten Planungsalternative, so wird deutlich, dass mehr Material benötigt wird. Dies liegt an der Entfernung der Bauteile zueinander, die auf Grund des Ziehprozesses bei der Vierfachteilfertigung erhöht werden musste.

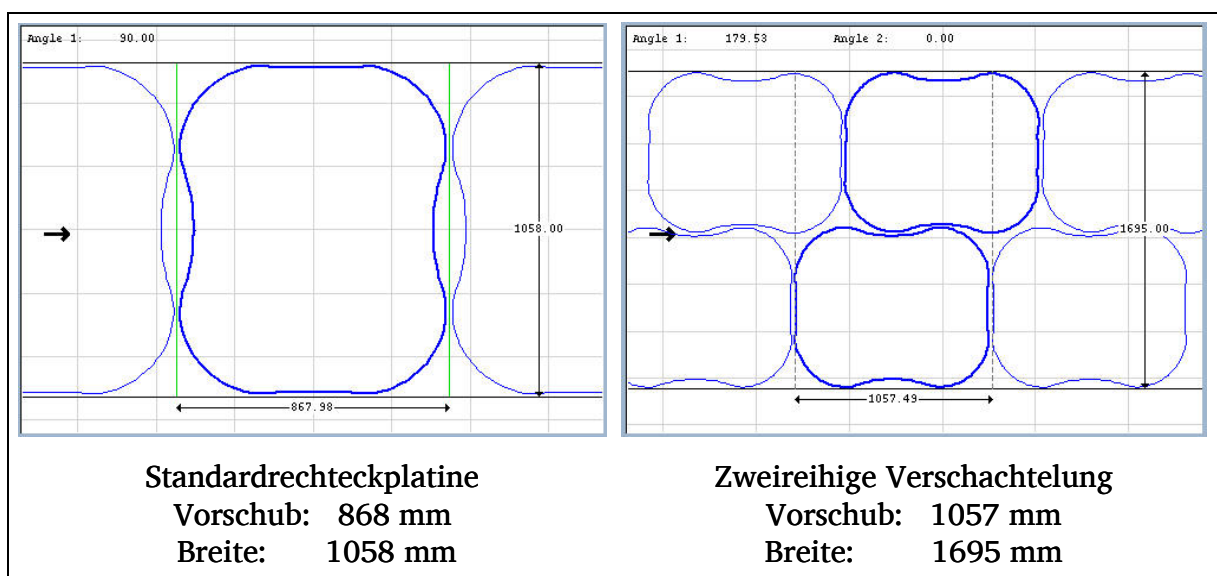


Abbildung 6.4.4: Vergleich zwischen Form und Rechteckplatte

Für die weiteren Ausführungen wird, analog zu Kapitel 6.3.2 die zweireihige Verschachtelung der Rechteckplatte vorgezogen. Aus dieser Wahl ergibt sich

insbesondere auf Grund der Bandbreite von 1695 Millimeter auch die Wahl der Platinenschneidanlage, wie sie in Abbildung 6.4.2 dargestellt ist.

Durchlaufplanung

Im Anschluss an die Materialplanung erfolgt die Durchlaufplanung. Hier soll die Verkippung der Bauteile innerhalb des Fertigungsprozesses von der ersten Ziehstufe zu den einzelnen Folgestufen geplant werden. Da es sich um eine vierfachsymmetrische Zusammenlegung handelt, müssen die Bauteile bis zur letzten Stufe verbunden bleiben. Erst dann dürfen die vier Einzelteile voneinander getrennt werden. Aus diesem Grund und der verwendeten Robotermechanisierung kann in den Folgestufen keine maßgebliche Änderung der Teillage realisiert werden.

Werkzeugkonzeptplanung

Feature	Length [mm]	Area [mm ²]	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7
Durchstellung links Teil 1	221.7	2180.4							
Rundloch 1 links Teil 1	37.6	112.0							
Rundloch 2 links Teil 1	31.3	77.0							
Rundloch 3 links Teil 1	37.6	112.0							
Rundloch 4 links Teil 1	37.6	112.0							
Rundloch 5 links Teil 1	20.4	32.0							
Nachformung 1 links Teil 1	122.6	3805.7							
Nachformung 2 links Teil 1	275.1	6597.2							
Bauteilbeschnitt links Teil 1	1225.5	68591.0							
Durchstellung links Teil 2	221.7	2180.4							
Rundloch 1 links Teil 2	37.6	112.0							
Rundloch 2 links Teil 2	31.3	77.0							
Rundloch 3 links Teil 2	37.6	112.0							
Rundloch 4 links Teil 2	37.6	112.0							
Rundloch 5 links Teil 2	20.4	32.0							
Nachformung 1 links Teil 2	122.6	3805.7							
Nachformung 2 links Teil 2	275.1	6597.2							
Bauteilbeschnitt links Teil 2	1225.5	68591.0							
Durchstellung rechts Teil 1	221.7	2180.4							
Rundloch 1 rechts Teil 1	37.6	112.0							
Rundloch 2 rechts Teil 1	31.3	77.0							
Rundloch 3 rechts Teil 1	37.6	112.0							
Rundloch 4 rechts Teil 1	37.6	112.0							
Rundloch 5 rechts Teil 1	20.4	32.0							
Nachformung 1 rechts Teil 1	122.6	3805.7							
Nachformung 2 rechts Teil 1	39.0	4287.9							
Bauteilbeschnitt rechts Teil 1	1225.5	68588.0							
Durchstellung rechts Teil 2	221.7	2180.4							
Rundloch 1 rechts Teil 2	37.6	112.0							
Rundloch 2 rechts Teil 2	37.6	112.0							
Rundloch 3 rechts Teil 2	37.6	112.0							
Rundloch 4 rechts Teil 2	31.3	77.0							
Rundloch 5 rechts Teil 2	20.4	32.0							

Abbildung 6.4.5: Werkzeugkonzept der zweiten Planungsalternative

Nachdem insbesondere die Maschinen und der Durchlauf des Teils geplant sind, erfolgt die Planung des Werkzeugkonzeptes. Analog zu Kapitel 6.3.2 findet auch hier die bereits beschriebene, featurebasierte Methodik zur Werkzeugkomponentenplanung Verwendung.

Abbildung 6.4.5 zeigt eine Übersicht der automatisch erkannten Bauteilfeatures, die für die weitere Erstellung eines ersten Werkzeugkonzeptes eine Relevanz besitzen. Zudem wurde bereits für jedes Feature ein passender Methodenstandard ausgewählt und die einzelnen Methodenmodule in die jeweils optimale Werkzeugstufe verschoben.

Im Gegensatz zum Werkzeugkonzept der ersten Planungsalternative fällt die größere Gesamtzahl der Features auf, die letztendlich zu einer gesteigerten Anzahl von notwendigen Komponenten, wie beispielsweise Messer oder Formbacken, führt.

6.4.3 Ermittlung der Kostenbausteine

Auf Basis des geplanten Fertigungskonzeptes werden schließlich die relevanten Werkzeug-, Material- und Fertigungskosten ermittelt.

Bestimmung der Materialkosten

Basis der Ermittlung der Materialkosten ist die in Kapitel 6.4.2 ermittelte minimale Platine und die gewählte zweireihige Verschachtelung der Formplatinen.

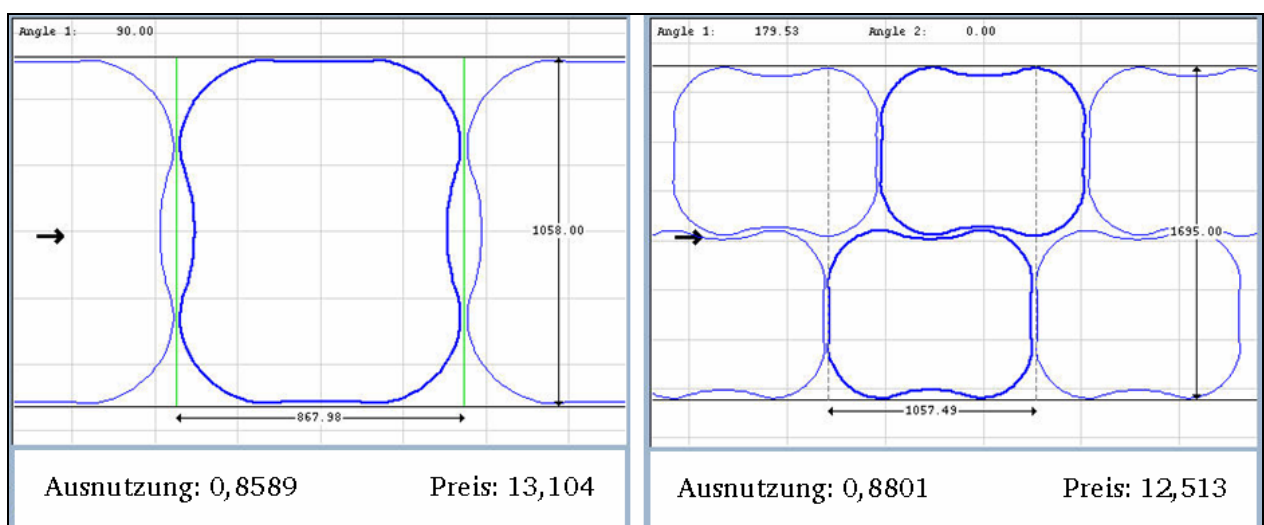


Abbildung 6.4.6: Kostenvergleich der Materialplanungsvarianten

Demnach ergeben sich, auf Basis der in Abschnitt 6.2.3 definierten Materialpreise und Schrotterlöse die Kosten der Standardrechteckplatine zu 13,10 Euro. Die Kosten der verschachtelten Formplatine liegen, wie in **Abbildung 6.4.6** zu sehen, bei 12,51 Euro.

Umgerechnet auf ein Bauteil ergeben sich damit bei der Standardplatine 3,28 Euro und bei der Formplatine 3,13 Euro. In Folge der gewählten vierfachsymmetrischen Zusammenlegung wird bei der zweireihigen Verschachtelung mehr Material im Wert von 0,03 Euro benötigt. Dies ist vor allem durch den Ziehprozess bedingt und auf Erfahrungen aus der Unternehmenspraxis zurückzuführen.

Ermittlung der Fertigungskosten

Anschließend erfolgt die Kalkulation der Fertigungskosten auf Basis der gewählten Produktions- und Platinenschneidanlagen.

Bei der gewählten, robotermechanisierten Pressenstraße ergeben sich die Kosten für einen Pressenhub, bei einer angenommenen Hubzahl von 8 Hub pro Minute und einem Maschinenminutensatz von 16 Euro pro Minute, zu 2,00 Euro pro Hub. Da pro Hub der Presse vier Bauteile produziert werden, errechnen sich die Fertigungskosten des Arbeitsvorgangs Pressen zu 0,50 Euro pro Bauteil.

Die Kosten für den Arbeitsvorgang Platinenschnitt berechnen sich aus der gewählten Platinenschneidanlage bei einer geplanten Hubzahl von 18 Hub pro Minute und einem Maschinenminutensatz von 10 Euro pro Minute zu 0,55 Euro pro Hub. Da bei einem Hub der Anlage zwei Platinen gefertigt werden, aus denen anschließend insgesamt acht Bauteile entstehen, ergeben sich die Kosten pro Bauteil zu 0,07 Euro.

Die gesamten Fertigungskosten errechnen sich damit zu 0,57 Euro für ein Bauteil.

Kalkulation der Werkzeugkosten

Nachdem bereits die Fertigungs- und die Materialkosten berechnen wurden, sollen im Folgenden die Werkzeugkosten kalkuliert werden. Analog zu Kapitel 6.3.3 erfolgt die Ermittlung der Kosten auf Basis der featurebasiert erstellten Werkzeugkonzeptplanung.

Die resultierenden Werkzeugkosten sind in **Abbildung 6.4.7** in Form eines Ausschnitts aus den tatsächlichen Kosteneinordnungen in einzelne Operationsstufen und Prozessschritte dargestellt.

	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5
Tuschieren Grundfläche Messer / Backen	4501.50	0.00	1549.50	1262.62	572.62
Montage 2: Backen / Messer / Schieber etc.	2250.75	0.00	20056.50	30357.79	1980.00
Abziehen u. Tuschieren	0.00	7198.18	3439.69	3439.69	3439.69
Abstimmarbeiten und Abgießen	0.00	0.00	4740.64	5230.45	0.00
Profilschleifen Obermesser, Montage zum Härten	0.00	0.00	3516.64	2842.40	0.00
Abfallrutschen anfertigen und montieren	0.00	0.00	750.00	750.00	750.00
Endmontage komplett	4751.93	4632.99	4854.63	7228.20	4854.63
Try-Out komplett	5132.83	10723.92	16903.98	16903.98	16903.98
Sum	59026.97	83117.28	213048.24	216297.79	89790.74
Material [€]					
Vergüten	0.00	0.00	0.00	224.29	224.29
Härten (durchhärten)	406.74	0.00	1375.67	1122.56	490.63
Laserhärten (3D)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Induktionshärten	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grauguss EN-JL1040 (GG25)	4727.90	0.00	5521.36	5521.36	5521.36
Grauguss GG25CrMo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sphäroguss EN-JS1050 (GGG 50)	0.00	0.00	705.23	705.23	705.23
Sphäroguss EN-JS2070 (GGG 70L)	0.00	13019.32	0.00	0.00	0.00

Abbildung 6.4.7: Ausschnitt aus den Kosten pro Werkzeugstufe

Für die weitere Untersuchung, insbesondere für den Alternativenvergleich, soll von Kosten des Werkzeugsatzes inklusive des Platinenschneidwerkzeugs von 800.000 Euro ausgegangen werden. Da bei jedem Hub der Presse vier Bauteile gefertigt werden, ergeben sich geplante Werkzeuginvestitionen von 200.000 Euro pro Bauteil. Da es sich um Investitionskosten handelt, müssen die Kosten über die Laufzeit und die geplante Ausbringungsmenge pro Jahr auf die Teilekosten umgelegt werden.

Bei der in Kapitel 6.2.3 getroffenen Annahme von 500.000 Bauteilen pro Jahr und einer Laufzeit von sieben Jahren ergibt sich die Werkzeugkostenumlage auf die Teilekosten im Falle des Bauteils Konsole Federbein links zu 0,06 Euro.

6.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie **Abbildung 6.4.8** zeigt, werden für die Herstellung einer Konsole Federbein links 3,76 Euro benötigt.

Den größten Teil der Teilekosten stellt weiterhin mit 83 Prozent der Posten der Materialkosten. Die Fertigungskosten fließen mit 15 Prozent und die Werkzeugkosten mit 2 Prozent ein. Damit ergibt sich gegenüber der ersten Planungsalternative

eine Verschiebung hin zu mehr Materialkosten aber auch zu niedrigeren Investitionsraten und geringeren Fertigungskosten.

Materialkosten		3,13 €
Fertigungskosten		0,57 €
Investitionsraten		0,06 €
Herstellkosten		3,76 €

Abbildung 6.4.8: Teilekosten bei Wahl der zweiten Alternative

6.5 Bewertung und Vergleich

Wie in der **Abbildung 6.5.1** dargestellt, nehmen die Materialkosten bei der vierfachsymmetrischen Zusammenlegung der Bauteile um 0,03 Euro zu.

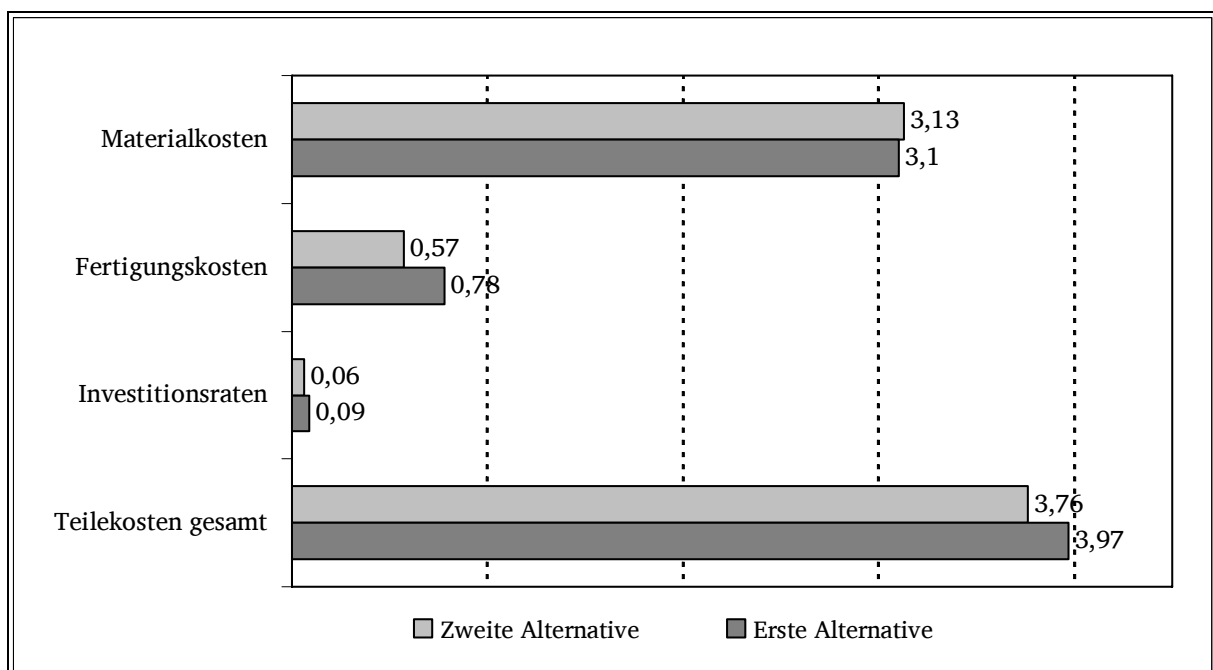


Abbildung 6.5.1: Alternativenvergleich

Im Gegenzug kompensieren die um denselben Betrag gesunkenen Investitionsraten der Werkzeuge diesen negativen Effekt. Da gleichzeitig die Fertigungskosten verringert werden, ergibt sich bei der Verwendung der vierfachsymmetrischen Zusammenlegung eine Einsparung um 0,21 Euro pro Bauteil gegenüber der Variante einer Doppelteulfertigung. Auf die gesamte Laufzeit des Fahrzeuges gerechnet, bedeutet dies eine Einsparung von 735.000 Euro.

Aus den beschriebenen wirtschaftlichen Gründen sollte also die zweite Planungsalternative mit der vierfachsymmetrischen Zusammenlegung der Bauteile als optimale Variante gewählt werden.

6.6 Zusammenfassung

In Kapitel 6 wurde die vorgestellte, integrierte Planungsmethodik für die Presswerkneutypplanung IMPRESS validiert. Hierzu wurde, nach einer kurzen Klärung des Ziels und der Vorgehensweise, der während der Promotion entstandene Software-Prototyp dargestellt. Anschließend erfolgte die Vorstellung des zur Validierung verwendeten Blechbauteils, der Konsole Federbein links der aktuellen Mercedes C-Klasse. In einem nächsten Schritt wurden die teilweise fiktiven Rahmendbedingungen für die Presswerkneutypplanung erklärt. Neben dem vorhandenen Maschinenpark als Eingangsgröße wurden für die Parameter Materialpreise, Maschinensätze, Hubzahlen, Projektziele sowie die Fahrzeugtyplaufzeit sinnvolle Werte angenommen. Im Anschluss wurden auf dieser Basis in Abschnitt 6.2 und 6.3 zwei unterschiedliche Planungsalternativen des betroffenen Bauteils diskutiert, die schließlich in Kapitel 6.5 bewertet und verglichen wurden.

7 Fazit und Ausblick

Abschließend sollen in Kapitel 7 die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Entwicklungen gegeben werden. Hierzu soll

- in Abschnitt 7.1 ein Fazit gezogen und
- in Abschnitt 7.2 ein Ausblick in die Zukunft gewagt werden.

7.1 Fazit

Im Rahmen der Arbeit wurde mit der Planungsmethodik IMPRESS ein neuer, integrativer Ansatz zur Presswerkneutypplanung vorgestellt. Mit Hilfe dieser Methodik ist die Presswerkplanung in der Automobilindustrie erstmals in der Lage, bereits in einer frühen Phase des Fahrzeugentwicklungsprozesses technische Machbarkeit und Teilekosten durchgängig zu ermitteln. Zudem konnte die Implementierung der neuen Planungsmethodik in den Presswerkplanungsprozess gezeigt werden. Am Praxisbeispiel der Federbeinkonsole der aktuellen Limousine der Mercedes-Benz C-Klasse wurde die Methodik zudem an einem real existierenden Bauteil validiert.

Der Einsatz der digitalen Presswerkneutypplanungsmethodik IMPRESS ermöglicht es der Automobilindustrie, den Herausforderungen einer Steigerung der Planungsqualität bei einer gleichzeitigen Senkung von Planungskosten und Planungszeit zu begegnen.

Erhöhung der Planungsergebnisqualität

Wie in Kapitel 6 am Beispiel des Software-Prototyps gezeigt, können mit dem neuen Ansatz erstmals auch die Werkzeugkosten auf Basis von modular und standardisiert aufgebauten Werkzeugkonzepten kalkuliert werden. Gegenüber dem bisherigen Vorgehen des Schätzens ist dies ein großer Vorsprung in der Ergebnisqualität.

Zudem werden durch das durchgängige Vorgehen von der technischen Machbarkeit über die Fertigungskonzepterstellung bis hin zur Kostenbausteinermittlung die Planungsfehler enorm reduziert. Die Anzahl der Schleifen bei der Erstellung des Fertigungskonzeptes können so minimiert werden.

Durch die Möglichkeit, schnell verschiedene Varianten des Fertigungskonzeptes aufzubauen und diese nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich miteinander zu vergleichen, erhöht sich die Planungsergebnisqualität. Fertigungskonzepte, die mit dem alten Vorgehen, beispielsweise aus Zeitmangel, nicht berücksichtigt wurden, können mit dem neuen Ansatz angelegt und bewertet werden. In vielen Fällen können so bessere Fertigungskonzepte gefunden und damit letztendlich ein niedrigerer Teilekostenpreis realisiert werden.

Durch das schnelle Finden eines optimalen Fertigungskonzeptes wird die Reaktionszeit einer ganzheitlichen Presswerkplanung auf neue Bauteilgeometriestände drastisch reduziert. Eine direktere Rückmeldung an die Fahrzeugentwicklung in Form konstruktiver Vorschläge zur Optimierung der Geometrie hinsichtlich des Presswerkfertigungsprozesses führt letztendlich zu insgesamt reiferen und damit auch kostengünstigeren Bauteilen.

Reduzierung der Planungszeit

Ein weiteres Ergebnis des Einsatzes der neuen Planungsmethodik IMPRESS ist die Reduzierung der für die Analyse und Planung eines Bauteils benötigten Zeit. So ist es vor allem durch die Integration von Machbarkeit und Kosten nicht nur möglich, im Verlauf eines Tages mehrere in Frage kommende Alternativen des Fertigungskonzeptes aufzubauen, sondern diese auch wirtschaftlich und technisch zu bewerten.

Insbesondere durch die Verwendung von Standards über den gesamten Planungsprozess wurden zudem Tätigkeiten automatisiert. So generiert der Software-Prototyp, der in Kapitel 6 vorgestellt wurde, durch voreingestellte Methodenstandards bereits automatisch ein 80:20-Werkzeugkonzept, das für eine genauere Betrachtung angepasst werden kann.

Reduzierung der Planungskosten

Diese automatische Erstellung und Dokumentation des 80:20-Werkzeugkonzeptes führt auch dazu, dass in der späteren Werkzeugfeinmethodenphase nicht mehr von vorne begonnen werden muss. Durch die Dokumentation der Planungsüberlegungen kann das zuvor beplante Werkzeugkonzept als Basis der Feinmethode verwendet werden. Damit können mit dem Einsatz der Methodik IMPRESS die entstehenden Kosten für die Feinmethode reduziert werden.

Zudem können in der frühen Fahrzeugentwicklungs- und -planungsphase durch die schnellere Rückmeldung von prinzipieller Machbarkeit und resultierenden Kosten teure Planungsschleifen vermieden werden.

7.2 Ausblick

Der Fokus der integrierten Planungsmethodik lag bisher vor allem darauf, in einer frühen Fahrzeugentwicklungsphase schnelle Rückmeldungen an den Bauteilkonstrukteur geben zu können. In Zukunft werden jedoch auch Prozessschritte, die in der Prozesskette sehr viel später erfolgen, eine höhere Wichtigkeit bekommen. Insbesondere die Integration der Erstellung einer Feinmethode für die benötigten Werkzeuge sowie die Werkzeugkonstruktion müssen betrachtet werden.

Zwar kann mit der digitalen Planungsmethodik eine produktionsgerechte Produktgestaltung durchgängig digital erfolgen, die Weiterverwendung der Ergebnisse des jeweiligen Planungsstandes insbesondere in der Werkzeugkonstruktion ist jedoch nicht erreicht. Wird beispielsweise im vorgestellten Software-Prototyp eine Werkzeugkomponente zur Werkzeugkostenermittlung initialisiert, so erfolgt keine geometrische Modellierung. Durch eine Verbindung der Planungsmethodik mit der Methodik zur featurebasierten Konstruktion von Werkzeugen kann auch hier bedeutendes Automatisierungspotenzial realisiert werden.

Nicht nur die prozessuale Weiterentwicklung der Planungsmethodik IMPRESS zu einer Unterstützung des gesamten Presswerkplanungsprozesses ist ein Anliegen. Auch die Übertragung auf die anderen Gewerke der Produktionsplanung in der Automobilindustrie wird die zukünftige Entwicklung prägen. Insbesondere die Integration der Feature-Technologie macht die Methodik nicht nur für den Karosserierohbau oder die Fahrzeugmontage interessant.

E Literaturverzeichnis

- [Awf85] Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) e.V. (Hrsg.): Integrierter EDV-Einsatz in der Produktion - Computer Integrated Manufacturing, Eschborn, 1985
- [Bär96] Bär, T.; Weber, C.: Neues aus dem Bereich der Feature-Technologie, CAD-CAM Report, Nr. 9, 1996, S. 96-106
- [Baur02] Baur, M.: Prozessorientierte Kaskadenplanung im Bereich Strukturplanung Presswerk, Dissertation, Chemnitz, 2002
- [Beg03] Beger, A.; Gutzeit, M.: Der Mensch im Mittelpunkt von Veränderungsprozessen, Personal, Heft 5, 2003, S. 28-31
- [Ber99] Berger, S.: Effiziente Nutzung von Wissen bei der Risikoanalyse. Wissensmanagement im Produktions- und Produktionsprozeß: Potenziale und Lösungen für die Herausforderung der Wissensgesellschaft, 1999, S.99-116.
- [Bra03] Bracht, U., Bierwirth, T.: Virtuelle Logistikplanung, ZWF Jahrg. 98 (2003) 5, S. 219-223
- [Ciu04] Ciupek, M.: Sichert die Digitale Fabrik Standorte?, in: VDI nachrichten (2004) Nr. 51/ 53 vom 17.12.2004, S. 20
- [Dav98] Davenport, T.H.; Prusak, L.: Wenn ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiß...Das Praxisbuch zum Wissensmanagement, Landsberg/ Lech, 1998
- [Dem86] Deming, W. E.: Out of the Crisis, 2. Auflage, Massachusetts Institute of Technology Press, 1986
- [DIN-10027-1] DIN 10027-1: Bezeichnungssystem für Stähle - Teil 1: Kurznamen, Berlin, 2005
- [DIN-25448] DIN 25448: Ausfalleffektanalyse, Berlin, 1990

-
- [DIN-44330] DIN 44330: Telegrafentechnik und Telegrafie-Einrichtungen für Datenübertragung - Begriffe, Berlin, 1976
- [DIN-8402] DIN EN ISO 8402: Qualitätsmanagement, Berlin, 1995
- [DIN-9000] DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe, Berlin, 2005
- [Dom97] Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S.: Produktionsplanung - Ablauforganisatorische Aspekte, 2. Auflage, 1997
- [Dör02] Döring, J.; Jenzowsky, S.: ShareNet: die nächste Generation von Wissensmanagement im Vertrieb bei Siemens ICN, in: Bellmann, M. (Hrsg.); Krcmar, H.; Sommerlatte, T.: Wissensmanagement - Strategien - Methoden - Fallbeispiele, Düsseldorf, 2002,
- [Dud01] Duden Lexikon, 22. Auflage, Mannheim, 2001
- [Ehr03] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung, 2. Auflage, München, 2003
- [Eve96] Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Betriebshütte - Produktion und Management, Teil 2. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 1996
- [Gai94] Gaitanides, M.: Prozessmanagement, München, 1994
- [Gar84] Garvin, D.A.: What does Product Quality really mean?, Sloan Management Review, Volume 26, Nr.1, 1984, S. 25-43
- [Gar88] Garvin, D.A.: Die acht Dimensionen der Produktqualität, Harvard Manager Review, 10. Jg., Nr. 3, 1988, S. 66-74
- [Gei06] Geis, S.: Integrated Methodology for Production Related Risk Management of Vehicle Electronics (IMPROVE), Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Maschinenbau, 2006
- [Glo03] Gloßner, M.: Integration des Werkzeugbaus in die Digitale Fabrik des Centers Karosserie-Technik der DaimlerChrysler AG

- Potenziale einer durchgängigen Prozesskette, Diplomarbeit, Stuttgart, 2003
- [Gör06] Görg, A.: Product Lifecycle Management: Ein Überblick, in: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik, Heft 249, 2006, S. 6-16
- [Gro95] Groszmann, A.: Fehler vermeiden in der Produktion mit wissensbasierter FMEA-Software, in: Maschinenmarkt, Würzburg, Band 101, 1995, Heft 24, S.56-60
- [Haa99] Haasis, S. et al: Feature-basierte Integration von Produktentwicklung, Prozessgestaltung und Ressourcenplanung, in: VDI: Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie, VDI Berichte 1497, Düsseldorf, 1999
- [Hal03] Haller, E.; Schiller, E.; Seuffert, W.-P.: Herausforderungen beim Hochlauf der Digitalen Fabrik, in: Schiller, E.: Innovation in der Automobilproduktion und Produktionsplanung - Ausgewählte Beiträge aus der industriellen Praxis, Aachen, Shaker, 2003, S. 1 - 15
- [Ham94] Hammer, M.; Champy, J.: Business Reengineering - Die Radikalkur für das Unternehmen, Frankfurt am Main, New York, Campus Verlag, 1994
- [Han01] Hansen, H.-R.; Neumann, G.: Wirtschaftsinformatik I, 8. Auflage, Stuttgart, 2001
- [Hel02] Helfrich, C.: Praktisches Prozessmanagement - vom PPS-System zum Supply Chain Management, München, Hanser, 2002
- [Hin03] Hinderer, U.: Neue Transfertechnik erschließt Synergiepotentiale, Blech InForm, München 1/2003
- [Hor94] Horváth, P. (Hrsg.): Kunden und Prozesse im Fokus - Controlling und Engineering, Stuttgart, 1995

-
- [Ima92] Imai, M.: Kaizen - Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb, München, 1992
- [Kam06] Kamiske G., Brauer, J.-P.: Qualitätsmanagement von A-Z, München, 2006
- [Kam05] Kaminsky, C., Gloßner, M.: Die Digitale Fabrik im Werkzeugbau der DaimlerChrysler AG – Grundverständnis, Stoßrichtungen und Erfolgsfaktoren, in: VDI-Z, Nr. 6, 2005, S. 42 - 45
- [Kar06] Karcher, A.: Ganzheitliches Product Lifecycle Management (PLM) - Vom notwendigen Übel zum strategischen Erfolgsfaktor, Projekt Management aktuell, Nr. 4, 2006, S. 32 - 41
- [Kla05] Klamser, M.: Fertigungstechnik im Fahrzeugbau - Blechumformung, Sindelfingen, 2005
- [Kla92] Klause, G.: CAD-CAE-CAM-CAP-CIM-Lexikon, 3. Auflage, Ehningen bei Böblingen, 1992
- [Kob04] Kobi, J. M.: Menschen überzeugen, Personal, Band 56, Heft 3, 2004, S. 23-25
- [Non98] Nonaka, I, Konno, N.: The Concept of „Ba“: Building a Foundation for Knowledge Creation, California Management Review, Volume 40, Nr. 3, 1998, Haas School of Business, University of California, Berkeley, 1998, S.40-55
- [Kop04] Koperski, D.: Schmalere Grat, in: Automobil Industrie 7-8/2004, S. 24-25
- [Kre99] Kress, H.: Virtual Engineering Teams in der Verteilten Produktentwicklung, Stuttgart 1999
- [Kur93] Kurbel, K.: Handbuch der Informatik, München, Wien, Oldenburg, 1993
- [Los05] Losch, M.: Virtuelle Absicherung des Presswerkfertigungsprozesses in der DaimlerChrysler AG, Diplomarbeit, Sindelfingen, 4/2005, S. 8

- [Mas99] Masing, W.: Handbuch Qualitätsmanagement, 4. Auflage, München, Hanser, 1999
- [Mba05] Mbang, S.: Prozesse und Organisationsstrukturen in der Automobilindustrie, Vorlesung PPR-Integration, Karlsruhe, 2005, S. 5
- [Mül99] MüllerWeingarten: Technik-Journal, Grundlagen der Ziehtechnik, Müller Weingarten, 1999
- [Mül07] MüllerWeingarten: Ziehverfahren, http://www.muellerweingarten.de/web/technologie/tech_umf/tech_umf_zieh.cfm, Zugriff: 24.07.2007
- [Nüt98] Nüttgens, M., Heckmann, M., Luzius, M.J.: Service Engineering Rahmenkonzept. In: IM – Fachzeitschrift für Information Management und Consulting, Sonderausgabe Service Engineering, August 1998. S. 14-19
- [Non98] Nonaka, I.; Takeuchi, H.: A Theory of the Firm's Knowledge-Creation Dynamics, in: Chandler, A.; Hagstrom, P.; Sölvell, Ö.: The Dynamic Firm – The Role of Technology, Strategy, Organization and Regions, Oxford University Press Inc., New York, 1998, S.215.
- [Obe06] Obermann, K.: Simulation lohnt sich auf jeden Fall, in: Blech, Nr. 2, 2006, S. 30-33
- [Ovt97] Ovtcharova, J.: Feature Technologie - Ein theoretischer Ansatz, in: VDI: Features verbessern die Produktentwicklung - Integration von Prozessketten, VDI Berichte 1322, Düsseldorf, 1997, S. 421-431
- [Pau05] Paulzen, O.: Qualitätsorientierte Entwicklung von Wissensmanagement-Systemen, http://lwi2.wiwi.uni-frankfurt.de/projekte/quewiss-/PraesentationQuewiss_20001222.pdf, Zugriff: 18.01.2007

- [Pau89] Pautzke, G.: Die Evolution der organisatorischen Wissensbasis – Bausteine zu einer Theorie des organisatorischen Lernens, München, 1989, S.79
- [Por99] Porter, M.E.: Wettbewerbsstrategie (Competitive Strategy) - Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten, Frankfurt, 1999
- [Pro97] Probst, G.; Raub, S.; Romhardt, K.: Wissen managen - Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen, Wiesbaden, 1997
- [Rei00] Reinhart, G. et al: Flexible Produktentwicklung und Montageplanung mit integrierten Prozessbausteinen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 95 (2000) 1/2, S. 19-22
- [Rei02] Reithofer, N.: VDI-nachrichten, 7. Juni 2002, Nr. 23, 2002, S. 11
- [Rei04] Reinfelder, A.: 90 Prozent Mensch, Automobil Produktion, August 2004, S. 18-19
- [Rei94] Reiß, M.: Reengineering: radikale Revolution oder realistische Reform?, in: Horváth, P. (Hrsg.): Kunden und Prozess im Fokus - Controlling im Engineering, Stuttgart, 1994
- [Rei97] Reiß, M., von Rosenstiel, L., Lanz, A.: Change Management – Programme Projekte und Prozesse, Schriften für Führungskräfte, Band 31, Schäffer Poeschel, 1997
- [Ren02a] Rentschler, C.: Mehr Effizienz durch digitale Welt, in: Automobilproduktion, Nr. 2 2002, S. 15
- [Ren02b] Rentschler, C.: Bis 2005 realisiert, in: Automobilproduktion, Nr. 2 2002, S. 4-10
- [Ris05] Rischar, K.: Veränderungsmanagement -Praxiserprobte Instrumente für Führungskräfte, Renningen, expert verlag, 2005

- [Roh01] Rohleder, M.: Simulation rückfederungsbedingter Formabweichungen im Produktentstehungsprozess von Blechumformteilen, Dissertation, Dortmund, 2001
- [Roll03] Roll, K. et. al.: Virtuelle Prozessplanung in der Blechteilefertigung, in: Schiller, E., Haller, E. [Hrsg.]: Innovation in der Automobilproduktion und Produktionsplanung: Ausgewählte Beiträge aus der industriellen Praxis, Aachen, 2003, S. 48-62
- [Sche89] Scheer, A.W.: CIM - Der computergesteuerte Industriebetrieb, 3. Auflage, Berlin u.a., Springer, 1989
- [Schi03] Schiller, E.: Innovation in der Automobilproduktion und Produktionsplanung - Ausgewählte Beiträge aus der industriellen Praxis, Aachen, Shaker, 2003
- [Scho04] Scholz, C.: Wettlauf zur Kammlinie, Automobil Produktion, April, 2004. S. 82-83
- [Seu98] Seufert: Wissensgenerierung und -transfer in Knowledge Networks, Zeitschriftenaufsatz: io Management, Nr. 10, 1998, Handels Zeitung Fachverlag AG, Zürich, S.76-84
- [Sim02] Simon, W.: Was bedeutet... Change Management?, Zeitschriftenaufsatz: REFA-Nachrichten, Band 55, Heft 6, 2002, S. 43-45
- [Sta02] Stahlknecht, P; Hasenkamp U.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik, 10. Auflage, Berlin, 2002
- [Str03] Streich, R.: Lust und Frust im Changeprozess - Wie Firmen den konstanten Wandel beherrschen können, io new management, Nr. 10, 2003, Handels Zeitung Fachverlag AG, Zürich, S.18-24
- [Ung02] Unger, S. (2002): Bericht über Pressekonferenz, Handelsblatt, 27.11.2002
- [Vaj98] Vajna, S.; Podehl, G.: Durchgängige Produktmodellierung mit Features, CAD-CAM REPORT, Nr. 3, 1998

- [Vdi03] VDI 2218: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung - Featuretechnologie, VDI, Düsseldorf, 2003
- [Vdi03] VDI Fachausschuss „Digitale Fabrik“: Protokoll der 4. Fachausschusssitzung am 6. Mai 2003
- [Vdi99] VDI: Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie, VDI Berichte 1497, Düsseldorf, 1999
- [VDI-4499] VDI 4499: Digitale Fabrik - Grundlagen, VDI, Düsseldorf, 2006
- [Web99] Weber, C.; Krause, F.-L.: Features mit System - die neue Richtlinie VDI 2218, in: VDI: Beschleunigung der Produktentwicklung durch EDM/PDM- und Feature-Technologie, VDI Berichte 1497, Düsseldorf, 1999
- [Wes03] Westkämper, E.; Bierschenk, S.; Kuhlmann, T.: Digitale Fabrik – Nur was für die Großen?, in: wt Werkstattstechnik 93 (2003) 1/2, S. 22 ff.
- [Wit00] Wittmann, M., Scheer, A.W.: FIT - Featurebasiertes Toleranzsystem, 2000
- [Wöh00] Wöhe, G.: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 20. Auflage, München, 2000
- [Zäh03] Zäh, M., Sudhoff, W., Rosenberger, H.: Bewertung mobiler Produktionsszenarien mit Hilfe des Realloptionsansatzes, ZWF, Jahrgang 98, 2003, S. 646-651
- [Zäh04] Zäh, M, Munzert, U., Wunsch, G.: Simulation von Montageanlagen in der Automobilindustrie - Hardware-in-the-Loop-Technologie für den Virtual Ramp-up, ZWF, Jahrgang 99, 2004, S. 18-21
- [Zen96] Zenner, T.: Qualitätsplanung in Produkt- und Prozessgestaltung, RWTH Aachen, Band 16/96, Shaker Verlag, S.10

- [Zet06] Zetzl, R.; Käuper, V.: Product Lifecycle Management:
 Informationsdrehzscheibe für den Produktlebenszyklus

ISSN: 1860-5990

ISBN: 978-3-86644-179-8

www.uvka.de