

# **Frühzeitige Kostenbeeinflussung der Verbindungstechnik mittels Prozesskostenprognose in der Automobilindustrie**

Von der Fakultät für Maschinenbau  
der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs  
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

Pascal Kettelmann

aus Osnabrück

Hamburg 2023

Referent: Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor

Tag der mündlichen Prüfung: 28.08.2023

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Maschinenelemente und Rechnergestützte Produktentwicklung des Instituts für Konstruktions- und Fertigungstechnik im Fachbereich Maschinenbau an der Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill, für die wissenschaftliche Begleitung meiner Arbeit. Die kontinuierliche Unterstützung, die konstruktiven Gespräche sowie das entgegengebrachte Vertrauen, insbesondere im Anschluss an meine Tätigkeit am Lehrstuhl, waren von wesentlicher Bedeutung für das Gelingen der Arbeit.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor, Leiter des Instituts für Konstruktionstechnik an der Technischen Universität Braunschweig für die Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof. Dr. Oliver Niggemann danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Arbeitskollegen und Ehemaligen des Lehrstuhls für die vielen impulsgebenden Gespräche, die gute Zusammenarbeit und den freundschaftlichen Umgang. Insbesondere möchte ich Dr. Robert Schulte für die Begleitung meines Forschungsprojektes und die beständige Unterstützung danken. Darüber hinaus danke ich Fernando Kabisch, Oliver Müller und Andreas Müller.

Meinen herzlichen Dank spreche ich auch den vielen Studenten und studentischen Hilfskräften aus, die im Rahmen meines Forschungsprojektes Teilaspekte untersucht und vertieft haben.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, die mich immer unterstützt und auf diesem Weg bestärkt hat. Insbesondere danke ich meiner Frau Elina, meinen Töchtern Paula und Hanna sowie meinen Eltern Anne und Ralph. Nur durch euren intensiven Rückhalt konnte ich diese Arbeit erfolgreich abschließen. Dankeschön!

Hannover, im November 2023

Pascal Kettelmann



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung.....	3
1.2 Struktur der Arbeit.....	4
<b>2 Mikroökonomische Betrachtung der Produktlebenszykluskosten</b> .....	<b>7</b>
2.1 Phasen und Kosten im Produktlebenszyklus .....	8
2.2 Kostenfestlegung und -entstehung im Produktlebenszyklus .....	13
2.3 Mikroökonomische Analyse des Unternehmenserfolges.....	15
2.3.1 Haushaltstheoretische Betrachtung.....	15
2.3.2 Produktionstheoretische Betrachtung.....	19
2.4 Zwischenfazit .....	20
<b>3 Grundlagen der automobilen Verbindungstechnik</b> .....	<b>22</b>
3.1 Physikalische Charakterisierung von Verbindungstechniken .....	23
3.2 Anforderungen an die Verbindungstechnik.....	24
3.2.1 Herstellerzentrierte Anforderungen.....	25
3.2.2 Kundenzentrierte Anforderungen.....	26
3.3 Verbindungsarten in der Automobilindustrie.....	27
<b>4 Der Produktentstehungsprozess</b> .....	<b>29</b>
4.1 Strategische Produktplanung.....	30
4.2 Produktentwicklung.....	32
4.3 Produktionssystementwicklung.....	38
4.4 Spezifika der Automobilindustrie .....	40
<b>5 Die Instrumente des Kostenmanagements</b> .....	<b>43</b>
5.1 Grundlagen des Kostenmanagements .....	43
5.2 Prozesskostenrechnung .....	45
5.3 Lebenszyklusrechnung .....	48
5.4 Zielkostenrechnung.....	51
5.5 Entwicklungsbegleitende Kalkulation.....	53

---

<b>6</b>	<b>Untersuchungsdesign</b> .....	<b>57</b>
6.1	Forschungsansatz .....	58
6.2	Methodischer Aufbau .....	58
<b>7</b>	<b>Frühzeitige Prozesskostenprognose der Verbindungstechnik im Automobilbau</b> .....	<b>61</b>
7.1	Prozesskostenprognose in der Entwicklungsphase .....	62
7.1.1	Analyse der Entwicklungsphase der Verbindungstechnik .....	62
7.1.2	Priorisierung der Prozesse in Abhängigkeit der Konstruktionsart .....	70
7.1.3	Ableitung von Prozesskosten in der Entwicklungsphase.....	72
7.2	Prozesskostenprognose in der Fertigungsphase.....	77
7.2.1	Analyse der Beschaffungsprozesskosten .....	77
7.2.2	Analyse der Logistikprozesskosten.....	83
7.2.3	Analyse der Fertigungsprozesskosten .....	87
7.3	Ganzheitliches Modell der frühzeitigen Prozesskostenprognose .....	93
7.4	Erweiterungen der Betrachtung auf weitere Lebensphasen .....	96
7.5	Anwendung bei der Standardisierung von Verbindungskonzepten .....	98
7.6	Bedarfsgerechte Informationsbereitstellung mittels eines Assistenzsystems .....	100
7.6.1	Inkrementelle Entwicklung des Assistenzsystems .....	101
7.6.2	Einordnung in den Produktentstehungsprozess .....	103
7.6.3	Integration in die Systemlandschaft .....	104
7.6.4	Organisatorische Implikationen.....	105
<b>8</b>	<b>Validierung der Prozesskostenprognose</b> .....	<b>107</b>
8.1	Vorgehensweise.....	107
8.2	Ergebnisse .....	109
8.3	Diskussion der Validierungsergebnisse .....	113
<b>9</b>	<b>Schlussbetrachtung</b> .....	<b>118</b>
9.1	Ausblick .....	120
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die "Design Research Methodology" .....	4
Abbildung 2: Klassifizierung von Produkten.....	9
Abbildung 3: Absatzentwicklung im klassischen Produktlebenslauf.....	10
Abbildung 4: Der integrierte Produktlebenszyklus .....	11
Abbildung 5: Kategorisierung von Ansätze der Lebenszykluskostenrechnung.....	12
Abbildung 6: Kostenfestlegung und -auswirkung im Produktlebenszyklus .....	13
Abbildung 7: Mikroökonomische Betrachtung der Produktlebenszykluskosten .....	14
Abbildung 8: Beziehungsgeflecht von Produktmerkmalen und Nutzenkomponenten...	16
Abbildung 9: Übersicht über die Fügeverfahren.....	22
Abbildung 10: 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung .....	29
Abbildung 11: Problemlösungsprozess.....	33
Abbildung 12: Modell der Produktentwicklung am Bsp. eines Automobilherstellers .....	35
Abbildung 13: V-Modell .....	37
Abbildung 14: PEP in der Automobilindustrie .....	40
Abbildung 15: Neuorientierung im Kostenmanagement.....	44
Abbildung 16: Schichtenmodell der Gemeinkosten eines Produktprojektes.....	51
Abbildung 17: Methodische Vorgehensweise bei Entwurf, Durchführung und Validierung der Prozesskostenprognose.....	59
Abbildung 18: Vorgehen in der Prozesskostenprognose .....	62
Abbildung 19: Hauptprozess in der Entwicklungsphase der Verbindungstechnik .....	63
Abbildung 20: Funktionsauslegung der Verbindungstechnik.....	64
Abbildung 21: Neuteilbeschaffungsprozess .....	65
Abbildung 22: Dokumentation von Verbindungen.....	66
Abbildung 23: Arten der Dokumentation .....	66
Abbildung 24: Virtuelle Absicherung der Verbindungstechnik.....	67
Abbildung 25: Vorgehen bei der mechanischen Absicherung.....	68
Abbildung 26: Prozessplanung der Verbindungstechnik.....	68
Abbildung 27: Qualitätsabsicherung in der Fertigungsvorbereitung .....	69
Abbildung 28: Fallbeispiel: Aufwandsverteilung in der Entwicklungsphase .....	75
Abbildung 29: Entscheidungsbaum für die Bewertung von Entwicklungskosten .....	76
Abbildung 30: Logistikprozess.....	84
Abbildung 31: Relevanz der Verbindungstechnik im Fertigungsprozess.....	88
Abbildung 32: Iterativer Prozess zur Standardisierung von Verbindungskonzepten.....	99

Abbildung 33: Das V-Modell .....	101
Abbildung 34: Stufenmodell zur Umsetzung eines Assistenzsystems.....	102
Abbildung 35: Aktivitäten beim inkrementellen Vorgehensmodell .....	108



---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Phasen der Produktentstehung in der Automobilindustrie .....	41
Tabelle 2: Vorhandene Informationen für Kalkulationen in Abhängigkeit der Produktentstehungsphase .....	53
Tabelle 3: Verfahren der entwicklungsbegleitenden Kalkulation .....	54
Tabelle 4: Prozessaufwand in Abhängigkeit der Konstruktionsart.....	71
Tabelle 5: Kostentreiber in der Entwicklungsphase .....	73
Tabelle 6: Prozess- und Einzelkosten in der Beschaffung .....	77
Tabelle 7: Kostentreiber in der Beschaffung .....	79
Tabelle 8: Merkmale einer multivarianten Analyse der Beschaffungskosten von Verbindungselementen.....	82
Tabelle 9: Kostentreiber in der Fertigung.....	89
Tabelle 10: Priorisierung der Kostenfaktoren in Abh. der Verbindungstechnik.....	94
Tabelle 11: Übersicht der notwendigen Kennzahlen und deren Informationsquellen ...	95

## Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
DMU	Digital Mock-Up
DRM	Design Research Methodology
FEM	Finite-Elemente-Methode
MEM	Methods-Energy Measurement
MTM	Methods-Time Measurement
MVP	Minimum Viable Product
OEM	Original Equipment Manufacturer
PEP	Produktentstehungsprozess
SET	Simultaneous-Engineering-Team
SOA	Service-orientierte Architektur
TCO	Total-Cost-of-Ownership

# 1 Einleitung

Zunehmender Wettbewerbsdruck und steigende Kundenanforderungen in der Automobilindustrie erzeugen die Notwendigkeit einer verstärkten Differenzierung der Hersteller gegenüber ihren Wettbewerbern [HER10]. Diese Differenzierung äußert sich insbesondere in einer steigenden Zahl von Modellvarianten und Ausstattungsoptionen bei einer gleichzeitigen Verkürzung der Produktentstehungszyklen [SCH08; SCH12]. Die interne Entwicklung und Herstellung der zusätzlich notwendigen Komponenten würde erhebliche Ressourcen der Automobilhersteller binden und die Flexibilität bei der Reaktion auf geänderte Marktbedingungen reduzieren. Deshalb erfolgt die Wertschöpfung für die zunehmende Variantenvielfalt häufig durch Lieferanten, die auf diese Weise einen immer größeren Leistungsumfang bei der Entwicklung und Herstellung einzelner Komponenten und Module übernehmen. Dadurch steigt zum einen das Beschaffungsvolumen der Automobilhersteller deutlich an [WIL04a], während zum anderen die Fertigungstiefe abnimmt [INT04]. Gleichzeitig findet bei den OEMs eine Konzentration auf die Kernkompetenzen statt [LOT12]. Diese sind entwicklungsseitig die Sicherstellung der Gesamtfahrzeugintegration sowie die Eigenentwicklung produkt- und markendifferenzierender Komponenten, wie zum Beispiel der Aggregate. In der Produktion findet eine Fokussierung auf die designbestimmenden Gewerke des Karosseriebaus und der Lackiererei sowie auf den Abschluss des Wertschöpfungsprozesses im Rahmen der Endmontage statt [INT04; WEY10; WIL98].

Sowohl im Karosseriebau als auch in der Endmontage stellt das Fügen von Bauteilen das zentrale Fertigungsverfahren dar. Dafür werden pro Fahrzeug mehrere tausend Schweißpunkte, hunderte Schrauben und eine Vielzahl weiterer Verbindungen benötigt [RES16]. Im Karosseriebau werden die im Presswerk gefertigten Karosserieteile miteinander verbunden. Als Fügeverfahren kommt insbesondere die Schweißtechnik zum Einsatz. Dabei sind die Prozesse durch einen hohen Automatisierungsgrad von mehr als 90 % gekennzeichnet [KLU10]. Demgegenüber ist die Endmontage durch einen hohen Anteil manueller Tätigkeiten und durch ein großes Spektrum unterschiedlicher Aktivitäten geprägt. Diese umfassen neben den Montagefunktionen Handhaben, Justieren und Prüfen insbesondere Fügeoperationen wie Schrauben, Vernieten, Klemmen oder Einhängen [LÖH77; WEY10]. Die Verbindungstechnik stellt somit einen wichtigen Faktor bei der Konzentration der Automobilhersteller auf ihre Kernkompetenzen dar. Einerseits ermöglichen vereinheitlichte Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Modulen in Form von Verbindungen erst die Realisierung vieler Ausstattungsvariationen. Auf der anderen Seite kann eine zunehmende Variantenvielfalt bei der Ausgestaltung von Verbindungen hinsichtlich Verbindungstechnologie, Verbindungselementen, Automatisierungsgrad und Prozessparametern die Komplexität und die Kosten in der Fertigung erheblich beeinflussen. Die Fokussierung auf Verbindungstechnik als eine Kernkompetenz von Au-

tomobilherstellern kann deshalb nur durch eine Optimierung der Prozesse im Zusammenhang mit der Entwicklung und Fertigung von Verbindungen einen Wettbewerbsvorteil erzeugen.

Der Wandel vom Anbietermarkt zum Käufermarkt führt neben der zunehmenden Variantenvielfalt und der gleichzeitigen Fokussierung auf die Kernkompetenzen auch zu einer sinkenden Zahlungsbereitschaft der Konsumenten. Davon ist auch das Erzielen von Monopolpreisen für Innovationen betroffen [HÜT08], sodass die Möglichkeit der Renditesicherung von Automobilherstellern durch Preisaufschläge für Innovationen abnimmt. Da sich die Verkaufspreise an den herausfordernden Marktbedingungen orientieren, ist die Höhe der erzielbaren Rendite insbesondere von einem erfolgreichen Kostenmanagement abhängig. Das Ziel des Kostenmanagements ist die systematische Steuerung von Maßnahmen, die einer frühzeitigen Kostenbeeinflussung sowie einer Senkung des Kostenniveaus dienen [FIS08]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Großteil der Kostenfestlegung bereits früh im Produktentstehungsprozess stattfindet, während die Kosten hauptsächlich in der Fertigungs- und Nutzungsphase anfallen [EHR14]. Dadurch wird die Möglichkeit der Kostenbeeinflussung im Verlauf des Produktlebenszyklus kontinuierlich reduziert. So sind bei Produktionsstart bereits 70 - 95 % der Selbstkosten festgelegt [SCH05]. Aus diesem Grund ist die Frühzeitigkeit bei der Beeinflussung von Kosten entscheidend für den Erfolg des Kostenmanagements. Gleichzeitig liegen zu einem frühen Zeitpunkt der Produktentstehung noch nicht alle Informationen für eine vollständige Kostenbewertung im Sinne der klassischen Kostenrechnung vor. Deshalb bietet das Kostenmanagement verschiedene Methoden für die Anfertigung von Kostenprognosen auf Grundlage unvollständiger Informationen an [BER95; BIN98; EHR14; FAR21; FIS08; HEI95; HER10]. Neben der frühzeitigen Prognose von Kosten ist auch die bedarfsgerechte Bereitstellung der Ergebnisse zum Zweck der Entscheidungsvorbereitung maßgeblich für den Erfolg des Kostenmanagements [SCH05]. Aus diesem Grund sind sowohl die Kenntnis über die Zeiträume der Erstellung aller relevanten Arbeitsergebnisse als auch das Bewusstsein über Zeitpunkte und Verantwortungen der relevanten Kostenentscheidungen im Produktentstehungsprozess eine notwendige Voraussetzung für ein effektives Kostenmanagement.

Die gezielte Anwendung der Methoden des Kostenmanagements in Bereichen hohen Kostenanfalls kann somit zur Realisierung von Wettbewerbsvorteilen führen. Die Verbindungstechnik als eine Kernkompetenz von Automobilherstellern und maßgebliche Ursache der Kostenentstehung im Karosseriebau und in der Montage bietet deshalb das Potential für nachhaltige Kosteneinsparungen und kann dadurch zur Verbesserung der Wettbewerbsposition von Automobilherstellern beitragen.

## 1.1 Zielsetzung

Verbindungstechnik ist die Voraussetzung für die Integration aller Komponenten eines Fahrzeugs zu einem Gesamtprodukt. Sowohl die Entwicklung der einzelnen Verbindungen als auch deren Herstellung erzeugen aufgrund ihrer Vielzahl insbesondere im Karosseriebau und der Montage einen hohen Aufwand und führen so zu erheblichen Kosten. Gleichzeitig liegt der Fokus bei der Entwicklung neuer Fahrzeugmodelle eher auf den Beschaffungskosten für die funktionstragenden Module als auf den Kosten der physikalischen Integration dieser Module in das Gesamtfahrzeug.

Das Ziel dieser Arbeit ist deshalb zum einen die Verbesserung der Transparenz über die im Zusammenhang mit der Verbindungstechnik anfallenden Kosten im Automobilbau. Zum anderen soll darauf aufbauend ein Vorgehensmodell zur gezielten Beeinflussung der Verbindungstechnikkosten entwickelt und validiert werden.

Die Grundlage für eine zunehmende Kostentransparenz ist die Identifizierung und Analyse der kostenverursachenden Prozesse in allen relevanten Lebensphasen. Dabei kann zwischen einer herstellerzentrierten Sicht und einer nutzerzentrierten Sicht auf die Verbindungstechnik unterschieden werden. Während aus Herstellersicht die Kosten der Verbindungstechnik in der Produktentwicklung und -absicherung sowie in der Produktion von Bedeutung sind, stehen aus Kundensicht neben den anteiligen Kosten für die Beschaffung des Automobils vor allem die Kosten für Wartung und Instandsetzung des Fahrzeugs im Fokus. Deshalb ist für die gezielte Beeinflussung von Kosten zunächst die Definition der Perspektive notwendig.

Für die Analyse und Prognose von Kosten umfasst das Kostenmanagement, das aus der klassischen Kostenrechnung hervorgegangen ist, unterschiedliche Methoden. In der vorliegenden Arbeit sollen die am häufigsten eingesetzten Methoden betrachtet und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die frühzeitige Prognose der Verbindungstechnikkosten im Automobilbau bewertet werden. Auf Basis dieser Bewertung soll ein geeignetes Vorgehensmodell abgeleitet werden, das auf Grundlage der kostenverursachenden Prozesse in den relevanten Lebensphasen eine Kostenprognose ermöglicht.

Darüber hinaus ist für eine gezielte Beeinflussung der Verbindungstechnikkosten die Sicherstellung der Kostentransparenz zum Zeitpunkt der Konstruktionsentscheidung notwendig. Aus diesem Grund sind bei der Entwicklung des Vorgehensmodells die zum Zeitpunkt der Entscheidung vorliegenden, unvollständigen Daten zu berücksichtigen.

Gleichzeitig sind die aufwandsarme Erzeugung der Kostenprognosen sowie die bedarfsgerechte Bereitstellung der Ergebnisse wichtige Kriterien für die Akzeptanz in den Entwicklungsabteilungen. Deshalb soll im Rahmen dieser Arbeit die Umsetzung des Vorgehensmodells im Rahmen eines Assistenzsystems zur automatisierten Berechnung und Bereitstellung der Kostenprognosen untersucht werden.

Neben der Bereitstellung von Kostenprognosen für die verantwortlichen Entwickler soll auch der Beitrag des Vorgehensmodells zu einer fahrzeugmodellübergreifenden Standardisierung von Verbindungstechnik überprüft werden. Verbindungstechnik in Form von Verbindungselementen in der Entwicklung sowie mit Bezug auf die Prozessparameter in der Fertigung ist bereits seit vielen Jahren Gegenstand von Standardisierungsmaßnahmen. Aufbauend auf den vorhandenen Aktivitäten zur Reduzierung von Teilevarianz soll abschließend ein Konzept für die ganzheitliche Betrachtung der Verbindungstechnikkosten bei der Standardisierung vorgestellt werden.

## 1.2 Struktur der Arbeit

Die Grundlage für den Aufbau der Arbeit bildet die „Design Research Methodology“ (DRM) nach Duffy und Andreasen [DUF95]. Demnach kann die Realität zunächst in ein Modell überführt werden, das die relevanten Phänomene beschreibt. Aus diesem Modell wird daraufhin ein Informationsmodell abgeleitet, das schließlich in ein Computermodell überführt werden kann. Dabei wird jeweils zwischen deskriptiven und präskriptiven Modellen unterschieden (vgl. Abbildung 1).

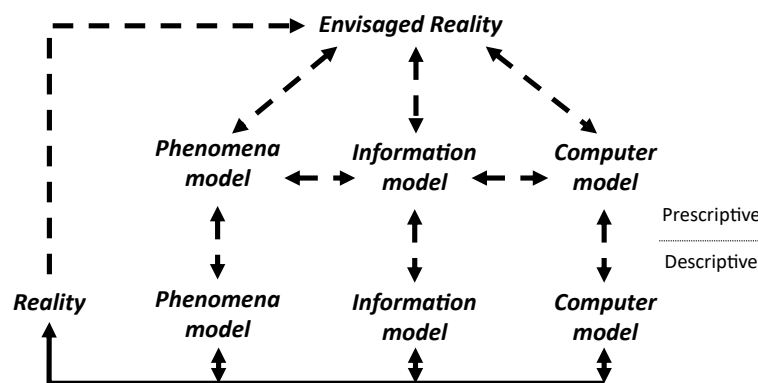


Abbildung 1: Die "Design Research Methodology" von Duffy und Andreasen [BLE09]

In Kapitel 2 bis Kapitel 5 werden zunächst bestehende Modelle zur Beschreibung der relevanten Phänomene im Forschungsumfeld analysiert. Dafür werden in Kapitel 2 die Voraussetzungen für unternehmerischen Erfolg aus mikroökonomischer Sicht betrachtet. In diesem Zusammenhang wird zunächst ein Verständnis für den Begriff des Produkts und für die einzelnen Lebensphasen zwischen Idee und Entsorgung geschaffen. Dabei wird auch auf die zeitliche Differenz zwischen Kostenfestlegung und Kostenentstehung eingegangen. Als Grundlage für gezielte Kostenbeeinflussungen wird daraufhin im Rahmen einer mikroökonomischen Analyse das Zusammenspiel von Kundenpräferenzen, Produktnutzen, Zahlungsbereitschaft, dem Einsatz von Produktionsfaktoren und der Interaktion zwischen Herstellern und Kunden auf dem Markt dargestellt und Anforderungen für die weitere Analyse abgeleitet.

In Kapitel 3 wird daraufhin die Verbindungstechnik im Automobilbau betrachtet. Neben einer Darstellung relevanter physikalischer Merkmale von Verbindungen werden die Anforderungen an die Verbindungstechnik aus hersteller- und kundenorientierter Sicht analysiert. Abschließend wird der Einsatz von Verbindungstechnik in den Gewerken des Automobilbaus erläutert.

Der Produktentstehungsprozess als zentraler Prozess für die Entwicklung und Herstellungsplanung von Verbindungen wird in Kapitel 4 vorgestellt. In diesem Zusammenhang wird zwischen der strategischen Produktplanung, der Produktentwicklung und der Produktionssystementwicklung differenziert und auf die spezifische Ausgestaltung dieser Zyklen in der Automobilindustrie eingegangen.

In Kapitel 5 werden die Methoden und Instrumente des Kostenmanagements erläutert und bewertet. Auf Basis einer Abgrenzung des Kostenmanagements von der klassischen Kostenrechnung werden die Prozesskostenrechnung, die Lebenszyklusrechnung, die Zielkostenrechnung sowie Methoden der entwicklungsbegleitenden Kalkulation vorgestellt und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Zielerreichung dieser Arbeit bewertet.

Die Ableitung des Forschungsansatzes und des Vorgehensmodells für die frühzeitige Kostenprognose der Verbindungstechnik im Automobilbau, im Weiteren als Prozesskostenprognose bezeichnet, erfolgt anschließend in Kapitel 6. Darüber hinaus wird auf den methodischen Aufbau der weiteren Untersuchung eingegangen.

Dafür wird entsprechend der DRM nach Duffy und Andreasen auf Grundlage der vorher analysierten Modelle sowie unter Berücksichtigung des dieser Arbeit zu Grunde liegenden Forschungsprojektes in Kapitel 7 mit dem Entwurf der Prozesskostenprognose zunächst ein Informationsmodell entworfen. Dieses Vorgehensmodell wird daraufhin in Kapitel 7.1 für die Entwicklungsphase implementiert, indem aufbauend auf einer Prozessanalyse die Identifizierung von Kostentreibern und die Berechnung der prognostizierten Prozesskosten erfolgt. Anschließend werden in Kapitel 7.2 die Beschaffungs-, Logistik- und Fertigungsprozesskosten von Verbindungen in der Fertigungsphase analysiert. Die Integration der betrachteten Lebensphasen zu einem ganzheitlichen Modell der frühzeitigen Prozesskostenprognose erfolgt in Kapitel 7.3. In Kapitel 7.4 wird daraufhin eine Erweiterung des Modells auf weitere Lebensphasen geprüft. Auf Grundlage des implementierten Vorgehensmodells wird in Kapitel 7.5 die Anwendung bei der Standardisierung von Verbindungskonzepten untersucht.

Aufbauend auf dem Informationsmodell erfolgt in Kapitel 7.6 die Überführung in ein Computermodell, das zur Unterstützung der realen Konstruktionsprozesse verwendet werden kann. Dazu wird ein Assistenzsystem für die bedarfsgerechte Bereitstellung der Prognoseergebnisse konzipiert. In diesem Zusammenhang wird ein Vorgehensmodell für die Entwicklung des Assistenzsystems vorgeschlagen sowie die Einbindung des Systems in

den Produktentstehungsprozess betrachtet, die Integration in die Systemlandschaft erläutert und organisatorische Implikationen bei der Einführung und Nutzung berücksichtigt.

Daraufhin erfolgt in Kapitel 8 die Validierung des Modells im Rahmen eines Forschungsprojektes bei einem Automobilhersteller. Auf Grundlage der Beschreibung der Vorgehensweise (Kapitel 8.1) werden die Ergebnisse dargestellt (Kapitel 8.2) und hinsichtlich der Zielerreichung kritisch diskutiert (Kapitel 8.3).

Abschließend werden die Erkenntnisse der Arbeit in Kapitel 9 zusammengefasst und ein Ausblick auf anschließende Forschungsbedarfe gegeben.



---

## 2 Mikroökonomische Betrachtung der Produktlebenszykluskosten

Die Analyse, die Darstellung und das Management von Kosten sind ein wichtiger Bestandteil sowohl der Wirtschafts- als auch der Ingenieurwissenschaften [BEU10; EHR14; STE09; WEI06]. Dieses Kapitel dient der Erarbeitung zentraler Grundlagen und Zusammenhänge in der Sicht auf Kosten der unterschiedlichen Disziplinen. So erlangt die Betrachtung von Lebenszykluskosten von Produkten sowohl in der Betriebswirtschaftslehre als auch im Ingenieurwesen zunehmend Bedeutung [HER10; JOO14]. Dabei entfallen diese Kosten anteilig auf die Hersteller und die Kunden eines Produktes. Die verteilte Kostenentstehung beeinflusst in Kombination mit dem Produktnutzen für den Kunden auch die volkswirtschaftliche Sicht auf Angebot und Nachfrage auf dem Gütermarkt [PIN13]. Für eine effektive Beeinflussung von Kosten ist darüber hinaus die ingenieurwissenschaftliche Fragestellung hinsichtlich des Zeitpunktes der Kostenfestlegung im Produktentstehungsprozess zu beantworten [SCH12], sodass nur durch die gemeinsame Betrachtung dieser Disziplinen ein ganzheitliches Bild auf Kosten entsteht und aufbauend Anforderungen an eine Kostenbeeinflussung abgeleitet werden können.

Im Allgemeinen wird der Kostenbegriff als monetär bewerteter Güterverzehr definiert, der für die Erstellung von Produkten oder das Erbringen von Dienstleistungen notwendig ist [SPR14; WEI06]. Diese auf den Hersteller eines Produktes bezogene Sichtweise auf Kosten kann durch die Ergänzung der Kundensicht erweitert werden. Denn im Zusammenhang mit der Nutzung eines Produktes fallen dem Kunden häufig ebenfalls Kosten an. Die Summe aller Kosten für die Entstehung, Verwendung und Verwertung eines Produktes werden deshalb als Lebenszykluskosten<sup>1</sup> bezeichnet [EHR14]. Für eine gezielte Beeinflussung von Kosten ist deshalb zunächst zu untersuchen, welche Phasen im Produktlebenszyklus unterschieden werden können und welche Kosten in diesen Phasen für den Hersteller und den Kunden anfallen (vgl. Kapitel 2.1).

Die im Fokus dieser Arbeit behandelte Beeinflussung von Kosten kann jedoch nicht grundsätzlich unabhängig von der Produktqualität betrachtet werden. Da im *magischen Dreieck* die Optimierung von Kosten, Qualität und Zeit in einem Zielkonflikt stehen [BIN98], kann eine Reduzierung von Kosten, insbesondere in wertschöpfenden Prozessen, einen negativen Einfluss auf den Kundennutzen und damit auf die Zahlungsbereitschaft haben. Die Abhängigkeit des Angebots und der Nachfrage eines Produktes von

---

<sup>1</sup> Der Begriff „Lebenszyklus“ wird in Anlehnung an die englische Bezeichnung „life-cycle“ in dieser Arbeit verwendet. Weitere in der Literatur verwendete Bezeichnungen sind „Lebenslauf“ EHR14 und „Produkt-Gesamtkosten“ VDI87b.

den Produktkosten bzw. des Produktnutzens wird in der Mikroökonomie eingehend untersucht. Auf Grundlage der Darstellung dieses Zusammenhangs können deshalb Anforderungen an die weitere Untersuchung abgeleitet werden (vgl. Kapitel 2.3).

Schließlich ist aufbauend auf der Beschreibung der Kosten im Produktlebenszyklus und die Analyse der Interdependenzen zwischen Kosten und Nutzen zu klären, zu welchem Zeitpunkt im Produktlebenszyklus die relevanten Kosten zielgerichtet beeinflusst werden können. Eine Studie von Creese und Moore hat aufgezeigt, dass 75 - 85 % der Kosten bereits in der Produkt- und Prozessplanung festgelegt werden [CRE90]. Andere Studien führten zu ähnlichen Ergebnissen. So sind je nach Autor 70 - 95 % der Selbstkosten bereits bei Produktionsstart unbeeinflussbar festgelegt [SCH05]. Die Kostenentstehung hingegen findet überwiegend in darauffolgenden Lebensphasen statt [EHR14; RUS00]. Aus dieser Diskrepanz leiten sich weitere Anforderungen an die Untersuchung ab (vgl. Kapitel 2.2), sodass abschließend die Verbindungstechnik als zentraler Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit anhand der Gesamtheit der identifizierten Anforderungen an eine erfolgreiche Kostenbeeinflussung bewertet werden kann (vgl. Kapitel 7).

## 2.1 Phasen und Kosten im Produktlebenszyklus

Das Verständnis der Phasen des Produktlebenszyklus und der in diesen Phasen entstehenden Kosten bildet die Grundlage für eine zielgerichtete Kostenbeeinflussung von Produkten. Dafür wird im Folgenden zunächst der Produktbegriff definiert und entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit eingegrenzt. Aufbauend kann die historische Entwicklung von Produktlebenszyklusmodellen dargestellt werden, um so die relevanten Lebensphasen eines Produktes identifizieren und abgrenzen zu können. Die Betrachtung der Kosten, die innerhalb der einzelnen Phasen für den Hersteller eines Produktes bzw. den Kunden entstehen, führt schließlich zu den unterschiedlichen Sichtweisen auf Lebenszykluskosten und der Notwendigkeit einer mikroökonomischen Analyse von Kosten und Nutzen.

Zunächst ist jedoch der Begriff *Produkt* geeignet zu definieren. Während aus Herstellersicht Produkte das Ergebnis eines unternehmerischen Leistungserstellungsprozesses darstellen, ist ein Produkt aus Kundensicht ein Bündel von Nutzenkomponenten, das der Befriedigung von Bedürfnissen dient [BIN98]. Dabei können Produkte materieller oder immaterieller Natur sein (Güter bzw. Dienstleistungen). Materielle Güter werden zusätzlich in Konsumgüter, die zur Bedürfnisbefriedigung von Privatpersonen dienen, und Investitionsgüter, die für die betriebliche Leistungserstellung genutzt werden, unterschieden. Weiterhin ist die Unterklassifizierung von Konsumgütern in Gebrauchs- und Verbrauchsgüter möglich (vgl. Abbildung 2) [SPR14]. Die folgende Betrachtung ist auf die Analyse von Gebrauchsgütern am Beispiel von Personenkraftwagen ausgerichtet, kann jedoch mit den notwendigen Anpassungen auch auf andere Produktklassifizierungen übertragen werden.

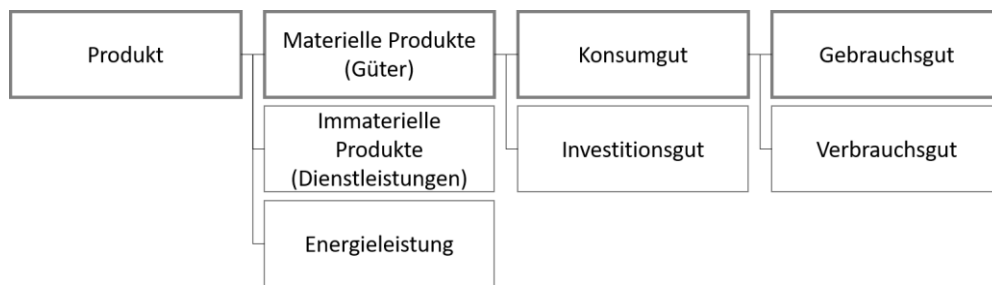


Abbildung 2: Klassifizierung von Produkten nach [SPR14]

Jedes Produkt durchläuft von der Idee bis zur Verwertung unterschiedliche Phasen, die in Summe den Produktlebenszyklus ergeben. Lebenszyklen können in vergleichbarer Weise auch für Technologien, Organisationen und Branchen beschrieben werden. Nach Höft bilden Lebenszyklusmodelle deshalb „die Nachfrage bzw. Verbreitung einer Innovation durch Einzelpersonen bzw. Organisationen im Zeitverlauf ab“ [HÖF92].

Der Betrachtungsumfang von Produktlebenszyklusmodellen ist historisch angewachsen. Zunächst diente der *klassische Produktlebenszyklus* als Instrument des Marketings der langfristigen Absatzprognose von Produkten und unterstützte die Ausrichtung des Produktionsprogramms [HOF77]. Dabei wird die Entwicklung der Absatzmenge in Abhängigkeit idealisierter, charakteristischer Absatzänderungsraten in die Phasen Einführung, Wachstum, Reife, Sättigung und Rückgang differenziert (vgl. Abbildung 3). Die Bezeichnungen der Phasen sind in der Literatur zum Teil abweichend, jedoch inhaltlich vergleichbar. Eine ausführliche Analyse hat in diesem Zusammenhang Uwe Höft erarbeitet [HÖF92]. Heute wird der Betrachtungsumfang des klassischen Produktlebenszyklus auch als Marktzyklus bezeichnet. Pfeiffer weist allerdings darauf hin, dass dieser idealtypische Verlauf des Marktzyklus nur bei Vernachlässigung wichtiger Einflussgrößen zulässig ist. So sind insbesondere der Nachfrage- und der Angebotszyklus<sup>2</sup> für ein Produkt in der Regel zeitversetzt. Der Verlauf der Nachfrage ist dabei von der Diffusion des Produktes abhängig, während der Beginn des Angebotszyklus den Abschluss der Produktentstehungsphase<sup>3</sup> erfordert [PFE74].

<sup>2</sup> Eine mikroökonomische Betrachtung der relevanten Einflussgrößen auf Angebot und Nachfrage wird in Kapitel 2.3 vorgenommen.

<sup>3</sup> Für eine detaillierte Darstellung des Produktentstehungszyklus vergleiche Kapitel 4.

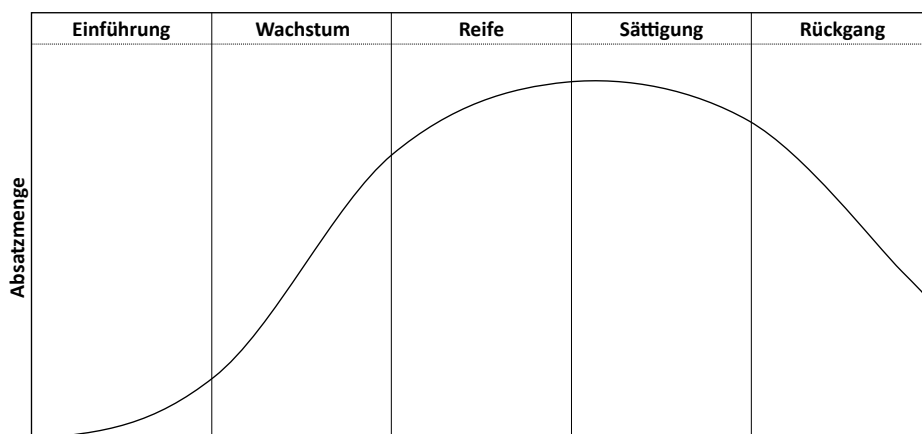


Abbildung 3: Absatzentwicklung im klassischen Produktlebenslauf nach [HOF77]

Die Integration von Produktlebenszyklusmodellen in die Kostenrechnung und die Untersuchung der Zusammenhänge von Kostenfestlegung und Kostenentstehung (vgl. Kapitel 2.2) führten zu der Ergänzung weiterer Produktlebensphasen [ZEH96]. So umfasst der *erweiterte Produktlebenszyklus* einen dem Marktzyklus vorgelagerten Entstehungszyklus mit den zentralen Phasen Forschung, Entwicklung und Produktions- und Absatzvorbereitung [HER10; PFE75]. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der vor dem Markteintritt anfallenden Kosten [ZEH96]. Die weitere Ergänzung eines wiederum vorgelagerten Beobachtungszyklus führt zum *integrierten Produktlebenszyklus*, der die Sammlung von Informationen für die Initiierung neuer Produkte darstellt. (vgl. Abbildung 4). Der Beobachtungszyklus unterstützt nach Pfeiffer die Forderung nach frühzeitigen Reaktionen auf geänderte Umweltbedingungen trotz existierender Unsicherheiten. Nur so könne die langfristige Produktplanung erfolgreich durchgeführt werden [PFE81].

Schließlich vervollständigt der auf den Marktzyklus folgende Nachsorgezyklus, der die Bereiche Wartung, Reparatur, Garantie und Entsorgung umfasst, den heutigen Stand der Produktlebenszyklusmodelle. Aufgrund steigender Kosten und einem gleichzeitig höherem Potential für die Generierung von Deckungsbeiträgen hat diese Phase seit der Einführung von Lebenszykluskonzepten an Bedeutung gewonnen [HAN88].

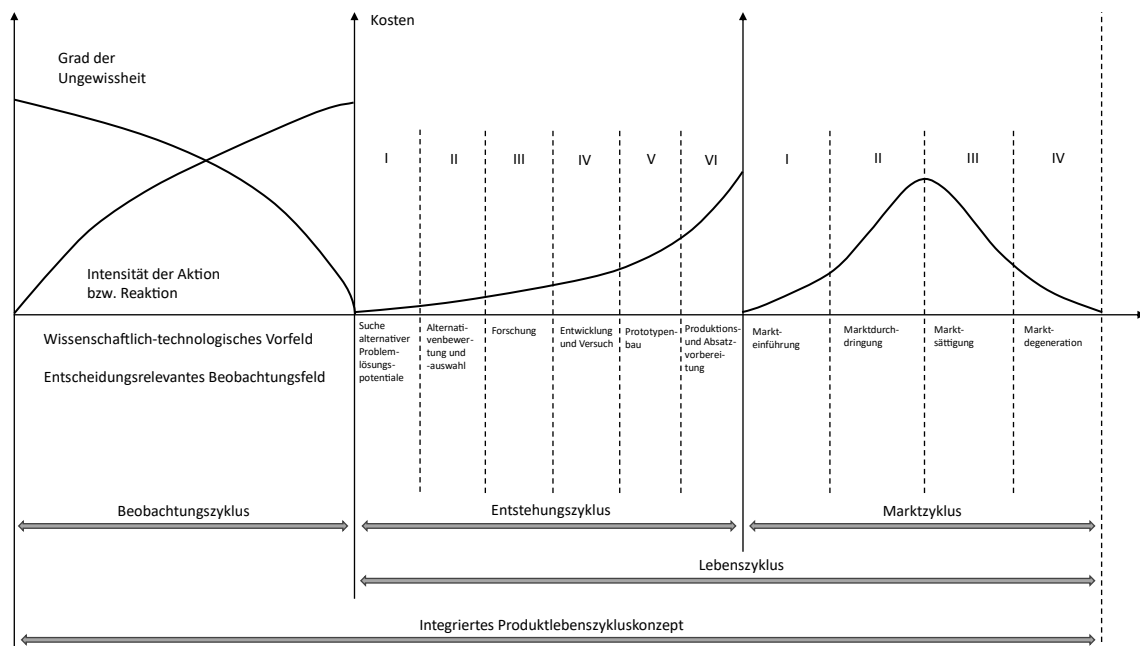


Abbildung 4: Der integrierte Produktlebenszyklus nach [PFE81]

Insgesamt ist festzustellen, dass Produktlebenszyklusmodelle von einer ursprünglich marketingorientierten Sichtweise zu einer übergeordneten, ganzheitlichen Sichtweise weiterentwickelt wurden, die neben dem Absatz auch Elemente der Kostenrechnung sowie markt-, kunden- und gesellschaftsorientierte Aspekte berücksichtigt [ZEH96].

Durch diese zunehmende Kosten- und Kundenorientierung rückte auch die Betrachtung der Produktlebenszykluskosten einzelner Produkte in den Fokus. Dabei dienen die Phasen der zuvor dargestellten Modelle der Kategorisierung der einzelnen Kostenfaktoren. So können in Anlehnung an Wübbenhorst Anfangskosten und Folgekosten unterschieden werden. Während die Anfangskosten die Kosten in den Phasen Initiierung, Planung (Konzeption, Design, Konstruktion) und Realisierung (Herstellung/Bau, Test/Einführung) umfassen, bilden die Folgekosten die Betriebsphase (Nutzung, Instandhaltung) und die Stilllegungsphase ab [WÜB84].

Die in der Literatur dargestellten Ansätze lassen sich entsprechend der oben beschriebenen Kostenzuordnung in nachfrageorientierte und anbieterorientierte Modelle unterscheiden. Aus Sicht eines Nachfragers umfassen die zu betrachtenden Kosten neben den Anschaffungskosten auch die Kosten für Betrieb, Wartung, Reparatur und Entsorgung. Die entsprechenden Modelle können den Kunden deshalb bei der Kauf- bzw. Investitionsentscheidung durch die Berücksichtigung von Folgekosten unterstützen [KEM99]. Demgegenüber sind die anbieterorientierten Ansätze vor allem eine Weiterentwicklung der klassischen Kostenrechnungssysteme und sollen „die Planung und Kontrolle von Kosten, Erlösen und Ergebnissen [...] über alle Phasen des Produktlebens,

von der Entwicklung bis hin zu den Nachsorgeverpflichtungen durch Garantie- und Serviceleistungen“ [BAC92] unterstützen. Eine Kategorisierung ausgewählter Modelle der Lebenszykluskostenrechnung nimmt Kemminer vor (vgl. Abbildung 5).

		Betrachtungsperspektive					
		Anbieterorientierte Ansätze		Nachfrageorientierte Ansätze			
Rechengröße	Kostenbasierter Ansatz	1988	Back-Hock	Lebenszyklusorientiertes Produktcontrolling	1978	Blanchard	Design and Manage to Life Cycle Cost
		1991	Shields / Young	Product Life Cycle Cost Management			
		1994	Reichmann / Fröhlich	Produktlebenszyklusorientierte Planungs- und Kontrollrechnung			
		1995	Siegwart / Senti	Product Life Cycle Management	1984	Wübbenhorst	Konzept der Lebenszykluskosten
		1996	Zehbold	Lebenszykluskostenrechnung			
		1999	Kemminer	Lebenszyklusorientiertes Kosten- und Erlösmanagement			
			1999	Osten-Sacken	Lebenslauforientierte, ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen		
	Zahlungs-basierter Ansatz	1994	Rückle / Klein	Product-Life-Cycle-Cost-Management			
		1996	Riezler	Lebenszyklusrechnung			

Abbildung 5: Kategorisierung von Ansätze der Lebenszykluskostenrechnung [HER10; KEM99]

Grundsätzlich bietet sich eine absolute Trennung der beiden Perspektiven jedoch nicht an, da beide Konzepte über den Verkaufspreis (herstellerorientiert) bzw. den Anschaffungspreis (kundenorientiert) eine Abhängigkeit aufweisen.

Die Anfangskosten sind dabei primär dem Hersteller eines Produktes zuzuordnen und beeinflussen dadurch direkt den Gewinn. Diese Anfangskosten werden im Zuge des Verkaufs implizit an den Kunden weitergegeben. Die Folgekosten sind im Allgemeinen durch den Kunden zu tragen, sodass sie den Gewinn des Herstellers indirekt über den Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft des Kunden beeinflussen. Aus diesem Zusammenhang kann die erste Anforderung an Kosteneinsparungen abgeleitet werden:

### 1. Anforderung:

Für eine gezielte Beeinflussung von Kosten ist zu klären, ob die Anfangskosten des Herstellers (direkte Auswirkung auf den Gewinn) oder die Folgekosten für den Kunden (Einfluss auf den Umsatz) im Fokus stehen.

Auf Basis der Zielsetzung, welche Kosten beeinflusst werden sollen, ist die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt (vgl. Kapitel 2.2 und 4) sowie den zur Verfügung stehenden Instrumenten (vgl. Kapitel 5) zu klären.

## 2.2 Kostenfestlegung und -entstehung im Produktlebenszyklus

In den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus entstehen sowohl für den Hersteller als auch für den Betreiber bzw. Konsumenten diverse Kosten, die potentiell beeinflussbar sind (vgl. Kapitel 2.1). Allerdings ist der Zeitpunkt der Festlegung dieser Kosten nicht identisch mit dem Zeitpunkt des Kostenanfalls. In unterschiedlichen Studien wurde nachgewiesen, dass ein wesentlicher Anteil der Kosten in den frühen Phasen des Produktlebens festgelegt wird. So ist das Ergebnis einer Studie von British-Aerospace, dass 80-90 % der Herstellkosten bereits vor dem Beginn der Produktion festgelegt werden [COE94]. Schömann weitet diese Aussage neben der Betrachtung von Kosten auf die Erfolgsdimensionen Qualität, Termine, Flexibilität und Differenzierung aus, kommt hinsichtlich dem Anteil der Festlegung dieser Dimensionen vor Produktionsstart jedoch zu einer vergleichbaren Aussage [SCH12]. Gleichzeitig ist der Anteil der Kostenverursachung der Konstruktionsabteilung mit nur ca. 6 % der Gesamtkosten wesentlich geringer [VDI87b]. Diese Diskrepanz verdeutlicht die Bedeutung von Entwicklungsentscheidungen, insbesondere in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses (PEP), für die Kostenentstehung in den nachfolgenden Lebensphasen (vgl. Abbildung 6) [SCH05].

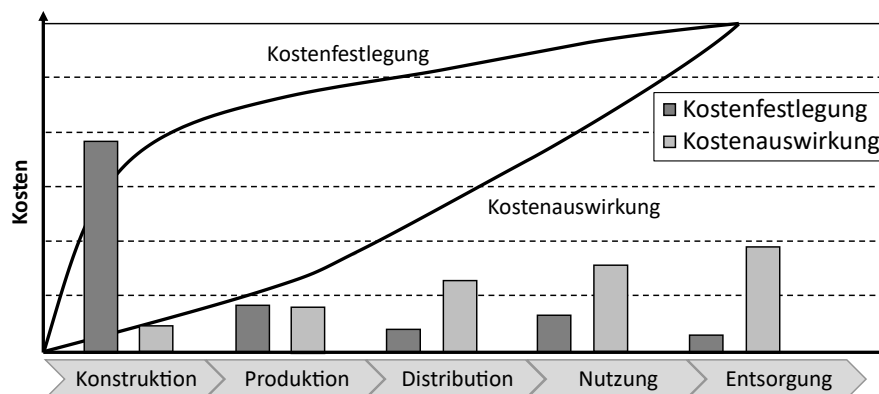


Abbildung 6: Kostenfestlegung und -auswirkung im Produktlebenszyklus [HER10]

Darüber hinaus zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass die Korrektur von Entscheidungen in späteren Phasen des Produktlebenszyklus exponentiell ansteigende Kosten verursacht. Die „Rule of Ten“ soll diesen Zusammenhang abstrahiert darstellen, indem die Änderungskosten von der Aufgabenklärung über die Konstruktion und die Fertigungsvorbereitung sowie die Fertigung bis hin zur Auslieferung jeweils um den Faktor zehn ansteigen [EHR14]. Gleichzeitig sinkt die Möglichkeit der Kostenbeeinflussung mit zunehmender Lebenszyklusphase, sodass in Kombination mit dem hohen Anteil der Kostenfestlegung in der Konstruktion sowie den zunehmenden Änderungskosten in nachfol-

genden Lebensphasen die Notwendigkeit entsteht, frühzeitig die „richtigen“ Entscheidungen unter Kenntnis ihrer wirtschaftlichen Auswirkungen zu treffen. Daraus ergibt sich eine weitere Anforderung an die Untersuchung:

## 2. Anforderung:

Die Festlegung später anfallender Kosten findet bereits früh im Produktentstehungsprozess statt. Eine Kostenbeeinflussung muss deshalb, trotz bestehender Unsicherheiten, ebenfalls in der frühen Phase erfolgen. Dafür ist die Möglichkeit der Kostenbeurteilung durch geeignete Methoden zu verbessern.

Aus Sicht eines Unternehmens dient jegliche Form der Kostenbeeinflussung primär dem Ziel der Gewinnmaximierung [WOE14]. Dabei können zum einen die Selbstkosten des Herstellers beeinflusst werden, sodass der Gewinn bei gegebenem Verkaufspreis steigt. Zum anderen kann eine Kostenreduktion in der Nutzungs- bzw. Entsorgungsphase die Zahlungsbereitschaft von Kunden erhöhen, sodass bei gegebenen Selbstkosten ein höherer Verkaufspreis erzielbar ist (vgl. Abbildung 7). Diese beiden Sichtweisen werden in der Mikroökonomie in Form der Produktionstheorie und der Haushaltstheorie vertieft.

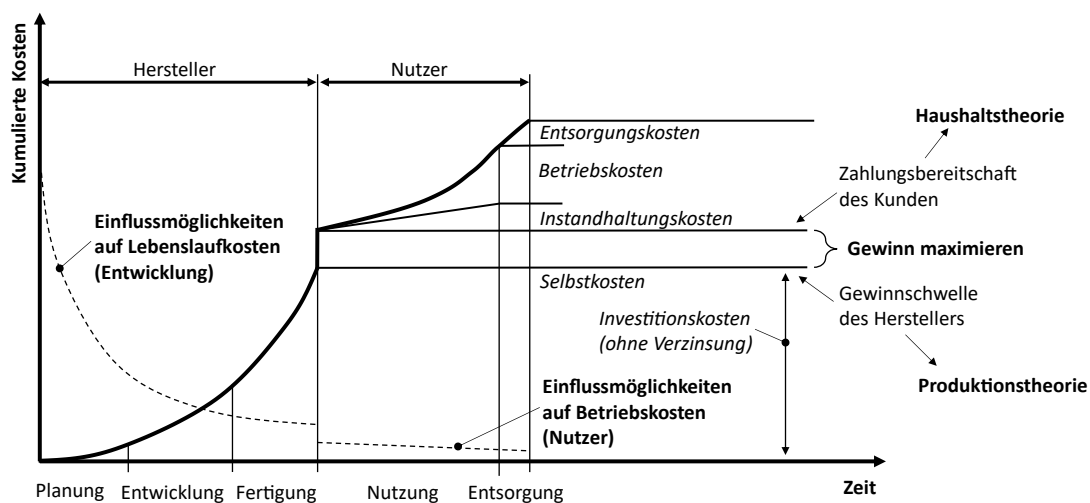


Abbildung 7: Mikroökonomische Betrachtung der Produktlebenszykluskosten (in Anlehnung an [EHR14])



## 2.3 Mikroökonomische Analyse des Unternehmenserfolges

Die Mikroökonomie beschreibt im Rahmen der Produktions- und Haushaltstheorie das Zusammenspiel von Präferenzen, Produktnutzen, Zahlungsbereitschaft, dem Einsatz von Produktionsfaktoren und der Interaktion zwischen Herstellern und Kunden auf dem Markt. Das folgende Kapitel soll deshalb unter Nutzung mikroökonomischer Ansätze ein Bewusstsein für die komplexen Wirkzusammenhänge schaffen, die die Grundlage für eine erfolgreiche, frühzeitige Kostenbeeinflussung darstellen.

Der Fokus dieser wissenschaftlichen Disziplin ist die Analyse von einzelwirtschaftlichen Entscheidungen von Anbietern und Nachfragern auf den Märkten für Produktionsfaktoren (Faktormärkte) und produzierten Gütern (Gütermärkte) [WOE14]. Die Theorie des Haushalts erforscht dabei zum einen die Konsumententscheidungen der Haushalte sowie zum anderen deren Entscheidungen über das Angebot von Arbeit und Kapital. Die Theorie der Unternehmung behandelt die Fragestellung der optimalen Outputmengen von Gütern und Dienstleistungen seitens der Unternehmen sowie deren Allokation von Produktionsfaktoren [BEU10].

Im Weiteren werden vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit die relevanten Grundlagen beider Theorien erläutert. Auf diese Weise soll ein Verständnis für die möglichen, komplexen Folgen einer Kostenbeeinflussung geschaffen und Anforderungen an die weitere Untersuchung abgeleitet werden. Es wird in diesem Zusammenhang untersucht, welche mikroökonomischen Auswirkungen durch Produktänderungen, die häufig Folge einer Kostenbeeinflussung sind, sowohl aus Kunden- als auch aus Herstellersicht verursacht werden.

### 2.3.1 Haushaltstheoretische Betrachtung

Haushalte sind die kleinste ökonomische Einheit mit einem eigenen Budget und selbstständiger Konsumplanung. Das Budget eines Haushaltes ist naturgemäß begrenzt, so dass nicht beliebig viele Güter für die Befriedigung der Bedürfnisse gekauft werden können. Dieser als Knappheit bezeichnete Zustand zwingt jeden Haushalt eine Entscheidung über die zu beschaffende Menge der verfügbaren Güter zu treffen [KOR02]. Eine spezifizierte Menge an Gütern wird Güterbündel genannt. Jedem Haushalt stehen in einer Periode verschiedene Güterbündel zur Verfügung, die innerhalb des jeweiligen Budgets liegen. Dabei erzeugt jedes Güterbündel einen Nutzen, der von den spezifischen Bedürfnissen des Haushaltes abhängig ist. Ein nutzenmaximierender Haushalt präferiert das Güterbündel mit dem höchsten Nutzen. Dieses Güterbündel wird in Verbindung mit den damit verbundenen Konsumausgaben und dem Budget des Haushaltes als optimaler Konsumplan bezeichnet [BEU10]. Vor diesem Hintergrund wird im Weiteren untersucht, welche potentiellen Auswirkungen eine durch eine Kostenbeeinflussung induzierte Produktänderung auf den optimalen Konsumplan eines Haushaltes hat. Dafür ist zunächst der Einfluss einer technischen Änderung am Produkt auf den Kundennutzen zu betrachten.

Aus Sicht eines Nachfragers repräsentiert ein Gut einen Komplex an Nutzenkomponenten, die zur Befriedigung der Bedürfnisse beitragen. Ein Anbieter hingegen kann bei der Entwicklung eines Produktes nur dessen Eigenschaften bzw. Merkmale direkt beeinflussen [HER13]. So wählt ein Hersteller von PKW zum Beispiel die Motorisierung des Fahrzeugs aus und nimmt dadurch Einfluss auf die durch den Kunden wahrgenommenen Nutzenkomponenten Fahrgeräusch, Beschleunigung und Kraftstoffverbrauch. Gleichzeitig wird der Kraftstoffverbrauch aber auch durch die Produktmerkmale Bereifung und Aerodynamik beeinflusst. Zwischen den technischen Merkmalen eines Produktes und den Nutzenkomponenten besteht also ein  $n:m$ -Verhältnis (vgl. Abbildung 8). Durch eine Produktänderung können somit diverse Nutzenkomponenten beeinflusst werden, die zum Teil nicht explizit bekannt sind. Der Anteil einer Nutzenkomponente am Gesamtnutzen sowie die Bewertung einer Nutzungskomponente ist von den Präferenzen des Haushaltes bzw. der Kundengruppe abhängig<sup>4</sup>. Die Abschätzung der Folgen einer Produktänderung auf die Nachfrage stellt deshalb eine komplexe Aufgabe dar, die eine differenzierte Betrachtung des Begriffs „Nutzen“ erfordert.

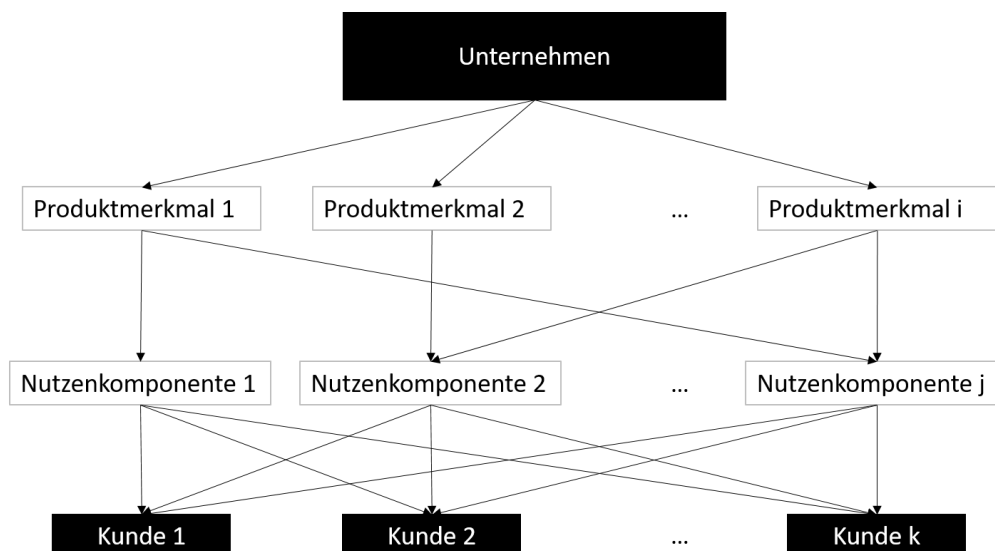


Abbildung 8: Beziehungsgeflecht von Produktmerkmalen und Nutzenkomponenten (schematische Darstellung)

<sup>4</sup> In der Produktentwicklung dient die Methode des „Quality Function Deployment“ mit dem „House of Quality“ als Werkzeug der Übertragung von Kundenanforderungen auf die Qualitätsmerkmale des Produktes. Die Kundenanforderungen können dabei als Ausdruck der geforderten Nutzenkomponenten eines Produktes verstanden werden, sodass diese Vorgehensweise auch einen Lösungsansatz für die beschriebene Problematik in der Haushaltstheorie darstellen kann.

Der Verbrauch bzw. Gebrauch eines Gutes tragen zur Befriedigung der Kundenbedürfnisse bei. Der Betrag dieses Mehrwertes bzw. Nutzens ist dabei abhängig von den individuellen Bedürfnissen des jeweiligen Konsumenten. Eine Möglichkeit zur Charakterisierung grundlegender Bedürfnisse bietet die Motivationstheorie. Nach Maslow können fünf Zielkomplexe identifiziert werden, die hierarchisch aufeinander aufbauen und sich gegenseitig beeinflussen. In der ersten Stufe sind physiologische Bedürfnisse, wie die Sicherstellung der Ernährung, zu erfüllen. Aufbauend folgen Bedürfnisse nach Sicherheit, sozialen Kontakten, Anerkennung und Selbstverwirklichung. Dabei sei jedes einzelne Bedürfnis zum einen stets nur teilweise befriedigt. Zum anderen werde ein höherrangiges Bedürfnis erst aktiviert, wenn die vorigen Bedürfnisse ausreichend erfüllt seien [MAS43]. Dadurch entsteht ein Komplex an Bedürfnissen, die Konsumenten durch den Kauf von Gütern befriedigen.

Das Kano-Modell unterscheidet in diesem Zusammenhang unter anderem zwischen Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen, die in Abhängigkeit ihres Erfüllungsgrades in unterschiedlicher Weise zur Bedürfnisbefriedigung von Kunden beitragen. So werden Basisanforderungen in der Regel nicht explizit formuliert, sondern implizit vorausgesetzt. Ihre Nichterfüllung reduziert die Befriedigung der Kunden überdurchschnittlich stark, während die Erfüllung von Basisanforderungen nur einen geringen Beitrag zur Zufriedenheit der Kunden hat. Leistungsanforderungen sind dagegen artikuliert und messbar sowie häufig technischer Natur. Sie tragen gleichermaßen zu Zufriedenheit bei Erfüllung und zu Unzufriedenheit bei Nichterfüllung bei. Die Begeisterungsanforderungen tragen schließlich bei Erfüllung überproportional zum wahrgenommenen Produktnutzen bei, indem sie das Produkt gegenüber der Konkurrenz hervorheben. Sie sind dem Kunden häufig jedoch nicht bewusst und werden somit in der Regel auch nicht artikuliert [KAN84; SAU96].

Der individuelle Nutzen eines Gutes ergibt sich dabei aus der Summe der wahrgenommenen Nutzenanteile. Diese können zunächst in Grundnutzen und Zusatznutzen klassifiziert werden. Der Grundnutzen bzw. Gebrauchsnutzen ergeben sich aus dem Zweck des Produktes, zum Beispiel im Falle eines PKW dem Transport einer bestimmten Anzahl von Personen und ggf. Ladung. Darüber hinaus ergibt sich der Zusatznutzen aus dem Individualnutzen und dem Geltungsnutzen. Der Individualnutzen beschreibt über den Grundnutzen hinausgehende und subjektiv wahrgenommene Komponenten, wie zum Beispiel ein Panoramadach oder eine Anhängerkupplung. Der Geltungsnutzen ergibt sich mit Bezug auf das Bedürfnis nach Anerkennung Maslow zufolge aus einer steigenden Wertschätzung durch das soziale Umfeld des Käufers. Das Produktdesign oder das Markenimage können diese Nutzenkomponente beispielhaft beeinflussen [MEI02]. Insgesamt ergibt sich dadurch bei der Bewertung von Kaufalternativen für jeden Konsumenten ein individueller Komplex an Nutzenkomponenten, die aggregiert die Bildung einer Rangordnung der zur Verfügung stehenden Güter ermöglichen.

Der Prozess dieser Präferenzkonstruktion bei Entscheidungen kann nach Herrmann durch die Phasen Problempäsentation, Informationsevaluierung und Verhaltensreaktion beschrieben werden [HER13]. Dabei wird zunächst ein mentales Modell von der Entscheidungssituation gebildet. Dieses stellt die Grundlage für die Bewertung dar, indem Beurteilungskriterien identifiziert und verknüpft werden. Im Rahmen der Informationsevaluierung werden daraufhin die zur Verfügung stehenden Informationen kombiniert und mit Bezug auf die persönlichen Einstellungen evaluiert. Die dabei durchgeführte Gewichtung unterschiedlicher Merkmale kann durch die Art der Präsentation seitens des Herstellers beeinflusst werden<sup>5</sup>. Im Rahmen dieses Prozesses werden die zur Verfügung stehenden Güterbündel (Konsumvektoren) hinsichtlich des Potentials der Bedürfnisbefriedigung bewertet. In Abhängigkeit des Budgets des jeweiligen Haushalts und den Güterpreisen<sup>6</sup> wird daraufhin das Güterbündel gewählt, das den höchsten Rang einnimmt und gleichzeitig noch innerhalb des Budgets liegt. Dieses ist der optimale Konsumplan [BEU10].

Ob ein spezifisches Produkt eines Unternehmens im optimalen Konsumplan eines bestimmten Konsumenten enthalten ist, hängt somit von einem komplexen Bewertungs- und Abwägungsprozess ab. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis stellt in diesem Zusammenhang den zentralen Einfluss auf diese Entscheidung dar. Durch die Festlegung der einzelnen Produktmerkmale und deren Ausprägungen werden die technisch-funktionalen sowie die sozial-emotionalen Nutzenkomponenten des jeweiligen Kunden beeinflusst. Dadurch ergibt sich in Abhängigkeit der Bewertung von Kaufalternativen die Zahlungsbereitschaft des Kunden, ab der das Produkt in den optimalen Konsumplan aufgenommen wird. Aus dieser Betrachtung kann auf Grundlage der Gesamtheit aller potentiellen Konsumenten der erzielbare Umsatz für den Hersteller abgeleitet werden, sodass abschließend die dritte Anforderung an folgende Untersuchung abzuleiten ist:

### **3. Anforderung:**

Der Kundennutzen und somit die Zahlungsbereitschaft ist von den Produktfunktionen sowie von emotional aufgeladenen Produktbestandteilen abhängig. Bei der Beeinflussung von Kosten sind deshalb die Auswirkungen auf die Zahlungsbereitschaft der Kunden bzw. den Umsatz zu berücksichtigen.

---

<sup>5</sup> Vgl. Priming-Effekt, Primacy-Effekt, Dominanzeffekt, Kompromisseffekt, Variantenvielfalt von Optionen, Opting-In/-Out [HER13; KAH16].

<sup>6</sup> Neben den Güterpreisen, die für die Anschaffung des Produktes in der Periode des Kaufs anfallen, müssen auch die Betriebs- und Entsorgungskosten berücksichtigt werden. Diese reduzieren das für die Kaufentscheidungen der Folgeperioden zur Verfügung stehende Budget und dadurch den erzielbaren Nutzen künftiger Konsumpläne (vgl. Kapitel 2.1).

### 2.3.2 Produktionstheoretische Betrachtung

In Analogie zu der Allokation des Budgets eines Haushaltes für unterschiedliche Güter können Unternehmen die Produktionsfaktoren, wie zum Beispiel Arbeit und Kapital, auf den jeweiligen Märkten einkaufen und diese nutzenmaximierend in der Produktion der zu verkaufenden Güter einsetzen. Der Nutzen aus Unternehmenssicht entspricht in der Regel dem übergeordneten Ziel der Gewinnmaximierung, wobei der Gewinn sich allgemein aus der Differenz der Verkaufserlöse und der Kosten für die Produktionsfaktoren ergibt [BEU10; WIE14].

Nach Kortmann umfasst der Begriff Produktion die Herstellung, Lagerung und den Transport von Gütern und somit „jegliche Veränderung von Gütern in sachlicher, zeitlicher oder räumlicher Hinsicht“ [KOR02]. Die Ziele der Produktionstheorie sind deshalb sowohl die Ermittlung der optimalen Produktionsfaktorkombination hinsichtlich Mengen und Preisen als auch die Entscheidung über die zu produzierende Gütermengenkombination [BEU10]. Der Fokus der weiteren Betrachtung liegt auf der Optimierung der eingesetzten Produktionsfaktoren, da diese im Rahmen unternehmerischer Entscheidungen direkt beeinflussbar sind. Insgesamt werden für die Produktion eines Gutes die Faktoren Arbeit, Boden, Kapital, Rohstoffe sowie Energie in unterschiedlichen Mengen kombiniert. Der Output kann Konsumgüter, Kapitalgüter, Vorleistungen, Abfälle und Wertstoffe umfassen [BRE15]. Der Zusammenhang zwischen der Menge der produzierten Güter und den dafür mindestens notwendigen Inputs wird als technisch effiziente Produktionsfunktion bezeichnet [BEU10; WOE14]. In Verbindung mit den Kosten für die einzelnen Inputs ergibt sich die Kostenfunktion [WOE14].

Da die Produktion jedes Gutes durch unterschiedliche Faktorenbündel erfolgen kann, existieren für einen gegebenen Output auch verschiedene Produktionsfunktionen. Diese werden durch die Integration der Faktorkosten wirtschaftlich vergleichbar gemacht, sodass auf Grundlage des ökonomischen Prinzips die kostenminimale Funktion auszuwählen ist. Diese wird auch als wirtschaftlich effizient bezeichnet [KOR02]. So kann beispielsweise in Abhängigkeit der Arbeits- und Kapitalkosten über den Automatisierungsgrad in der Produktion entschieden werden. Dabei können je nach Produktionsstandort unterschiedliche kostenminimale Funktionen existieren.

Insgesamt wird in der mikroökonomischen Theorie somit sowohl für die Bestimmung aller technisch effizienten Produktionsfunktionen als auch für die Ableitung der wirtschaftlich effizienten Produktionsfunktion vorausgesetzt, dass alle theoretisch möglichen Funktionen bekannt sind [BRE15]. In der Praxis ist die Umsetzung dieser Anforderung naturgemäß nicht vollständig möglich. Dieses äußert sich auch in der Realisierung von Kosteneinsparungsprojekten, da auf diese Weise wirtschaftlichere Produktionsfunktionen identifiziert und eingesetzt werden. Deshalb erhöht die Kenntnis und Bewertung jeder weiteren Produktionsalternative die Wahrscheinlichkeit im mikroökonomischen Sinn wirtschaftlich effizient zu produzieren. Diese Erkenntnis führt zur vierten Anforderung an Kostenbeeinflussungen:

**4. Anforderung:**

Die Auswahl einer wirtschaftlich effizienten Faktoreinsatzmengenkombination erfordert die Kenntnis aller möglichen Faktoreinsatzmengenkombinationen. Für eine Kostenbeeinflussung ist deshalb eine vollständige Kenntnis alternativer Produktionsverfahren notwendig.

## 2.4 Zwischenfazit

Die vorangegangene Betrachtung der Abhängigkeiten von Kosten und Nutzen im Produktlebenszyklus hat aufgezeigt, dass die Beeinflussung von Kosten nur unter Berücksichtigung diverser Anforderungen zu einem nachhaltigen Erfolg führen kann.

Zunächst ist die Frage zu beantworten, ob die Kosten des Herstellers eines Produktes oder die aus Kundensicht anfallenden Kosten beeinflusst werden sollen. Im Rahmen der Einleitung dieser Arbeit wurde vor dem Hintergrund der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Automobilherstellern bereits der Fokus auf die direkt beim Hersteller anfallenden Kosten gelegt, sodass die Lebensphasen bis zum Verkauf eines Fahrzeugs primär analysiert werden sollen. Im Rahmen der Entwicklung eines Vorgehensmodells werden zu diesem Zweck insbesondere die Entwicklungsphase und die Fertigungsphase der Verbindungstechnik detailliert untersucht (vgl. Kapitel 7.1 und 7.2).

Darüber hinaus ist die Relevanz von Verbindungstechnik für die Zahlungsbereitschaft der Kunden zu analysieren, um mögliche Abhängigkeiten zwischen Kostenbeeinflussung und Umsatz zu berücksichtigen. Deshalb werden in Kapitel 3 die hersteller- und die kundenspezifischen Anforderungen an die Verbindungstechnik im Automobil betrachtet.

Weiterhin ist die zeitliche Differenz zwischen Kostenfestlegung und Kostenentstehung zu beachten. Deshalb ist das Verständnis über den Zeitraum der Kostenfestlegung im Produktentstehungsprozess sowie über die dafür zur Verfügung stehenden Informationen und Zwischenergebnisse notwendig. In Kapitel 4 werden deshalb die Phasen und Aktivitäten im Produktentstehungsprozess dargestellt und die spezifischen Ausprägungen in der Automobilindustrie erläutert. Auf dieser Grundlage wird daraufhin ein geeigneter Zeitraum für die Kostenbeeinflussung bei der Auswahl und Gestaltung der Verbindungstechnik abgeleitet.

Die Methoden und Instrumente des Kostenmanagements liefern darauf aufbauend unterschiedliche Ansätze für die Prognose von Kosten auf Grundlage unvollständiger Informationen. Deshalb wird in Kapitel 5 untersucht, welches der zur Verfügung stehenden Instrumente für die frühzeitige Kostenbeeinflussung der Verbindungstechnik im Automobilbau geeignet ist.

Abschließend wird aufbauend auf der spezifischen Umsetzung eines Kostenprognoseverfahrens in Kapitel 7.5 und 7.6 dargestellt, auf welche Weise die Transparenz alternativer Lösungen (Faktoreinsatzmengenkombinationen) zum Zeitpunkt der Entwicklungsentscheidung verbessert und im Rahmen von Standardisierungsmaßnahmen verwendet werden kann.

### 3 Grundlagen der automobilen Verbindungstechnik

Vor dem Hintergrund sinkender Fertigungstiefe der OEMs in den letzten Jahrzehnten [INT04] gewinnt die Frage nach den Kernkompetenzen der Automobilhersteller insbesondere in der Fertigung weiter an Relevanz. Neben der Form- und Farbgebung des Fahrzeugäußeren in Presswerk und Lackiererei steht sowohl im Karosseriebau als auch in der Montage die Verbindung von Einzelteilen und Modulen im Fokus [WEY10]. Dabei stellen die Produktlebensphasen eines Fahrzeugs jeweils unterschiedliche Anforderungen an die Verbindungstechnik. So sind zum Beispiel die physikalische Absicherung sowie die Beschaffungskosten in der Produktentwicklung von zentraler Bedeutung, während in der Produktion die Fertigungsgerechtigkeit und Produktionszeiten im Vordergrund stehen. Der Erfüllungsgrad der jeweiligen Anforderung ist dabei abhängig von den physikalischen Eigenschaften der gewählten Verbindungstechnik.

Nach DIN 8580 kann die Verbindungstechnik der vierten Hauptgruppe der Fertigungsverfahren, dem Fügen, zugeordnet werden [DIN03a]. Das Fügen lässt sich weiterhin in neun Unterkategorien aufteilen:

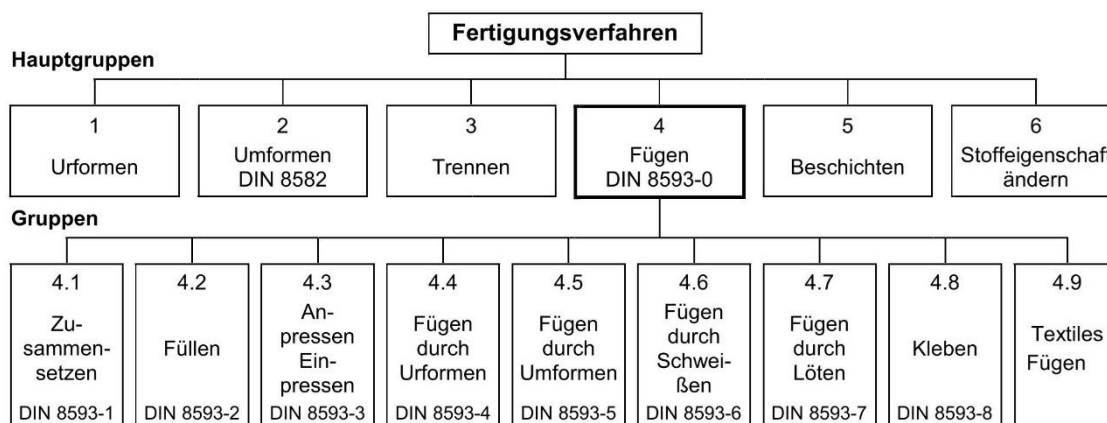


Abbildung 9: Übersicht über die Fügeverfahren [DIN03b]

Die Relevanz der einzelnen Fügearten für die Automobilindustrie kann aus einer Analyse des A3 Sportback sowie einer C-Klasse Limousine beispielhaft abgeleitet werden. Diese hat aufgezeigt, dass die Fügearten „An- und Einpressen“, „Fügen durch Schweißen“, „Fügen durch Löten“ sowie „Kleben“ für die Verbindung von Bauteilen in der automobilen Fertigung am häufigsten verwendet werden [RES16].

Der Begriff „Verbindung“ kann in diesem Zusammenhang wie folgt definiert werden:

*„Verbindungen sind Zusammenschlüsse von zwei oder mehreren widerstandsfähigen Körpern, sowie Körpern und formlosen Stoffen, die aufgrund von Betriebsbeanspruchungen nicht getrennt werden können und eine offene Verbindungskette bilden.“ [ROT96]*

Die unterschiedlichen Verbindungstechniken lassen sich dabei in Abhängigkeit ihrer physikalischen Eigenschaften vor dem Hintergrund der jeweiligen Anforderungen aus



den unterschiedlichen Lebensphasen bewerten. Infolgedessen werden je nach Anwendungsgebiet nur spezifische Verbindungstechniken verwendet. Die Auswahl der jeweils optimalen Technologie ist jedoch abhängig von der Gewichtung der einzelnen Anforderungen.

Im Weiteren werden zunächst die Verbindungstechniken hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften charakterisiert. Diese Eigenschaften können im nächsten Schritt mit den Anforderungen an die Verbindungstechnik in Relation gesetzt werden. Dabei sind mit Bezug auf die Automobilindustrie auch die Gewerke Karosseriebau und Montage zu unterscheiden.

### 3.1 Physikalische Charakterisierung von Verbindungstechniken

Das Aufrechterhalten einer Verbindung zwischen zwei oder mehr Bauteilen erfordert den Betriebskräften entgegenwirkende Reaktionskräfte. Die diesen Reaktionskräften zugrunde liegenden physikalischen Phänomene können zunächst in die Kategorien Stoffschluss, Formschluss und Kraftschluss eingeteilt werden. Die physikalischen Phänomene innerhalb dieser Kategorien sind beispielsweise Kohäsionskräfte fester Stoffe, Adhäsionskräfte, der Hook'sche Effekt, elektrostatische und magnetische Feldkräfte, Reibung oder die Fliehkraft [BAU91].

Neben der grundsätzlichen Unterscheidung hinsichtlich der Erzeugung der Reaktionskräfte lassen sich Verbindungen in Abhängigkeit der Relativbewegungsmöglichkeiten der Verbindungspartner unterteilen. So wird zwischen festen und beweglichen Verbindungen unterscheiden. Bei festen Verbindungen ist am Festpunkt durch das gewählte physikalische Phänomen keine Relativbewegung möglich. Bewegliche Verbindungen hingegen sind durch eine mögliche Relativbewegung in mindestens einem Richtungssinn gekennzeichnet [ROT96]. Die Mehrzahl der in der Automobilindustrie relevanten Verbindungen sind feste Verbindungen, sodass diese im Folgenden näher betrachtet werden.

Eine weiterführende Charakterisierung von Verbindungen kann mit Bezug auf ihre Lösbarkeit vorgenommen werden. Unlösbare Verbindungen werden bestimmungsgemäß nicht wiederholbar oder regelmäßig gelöst. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass mechanische Verbindungen grundsätzlich lösbar sind. Die Bezeichnung „unlösbar“ zielt vielmehr auf die eingeschränkte oder nicht gegebene Möglichkeit des Wiederausammenfügens ab, da die jeweilige Verbindung nicht zerstörungsfrei lösbar ist. Das gilt unter anderem für Nietverbindungen, die in der Regel nur durch die Zerstörung des Verbindungselementes lösbar sind. Ein erneutes Erstellen der Verbindung ist jedoch durch die Verwendung eines neuen Verbindungselementes möglich. Durch Stoffschluss erzeugte, unlösbare Verbindungen wie Schweiß- oder Klebeverbindungen sind demgegenüber nach der Zerstörung im Regelfall nicht wieder unverändert zusammenzufügen.

Unter den lösbaren Verbindungen sind die Schraubverbindungen aufgrund ihrer Berechenbarkeit und der physikalischen Eigenschaften die wichtigste Verbindungsart. Eine

Vielzahl unterschiedlicher Ausprägungen von Schraubverbindungen wird im Montagegewerk des Automobilbaus eingesetzt. Weitere lösbare Verbindungsarten sind Spann- und Schnappverbindungen [BAU91; RES16].

Verbindungen lassen sich darüber hinaus auch bezüglich der Notwendigkeit zusätzlicher Verbindungselemente unterscheiden. So werden für Schraubverbindungen, je nach Ausgestaltung, zum Teil mehrere zusätzliche Elemente, wie Schraube, Unterlegscheibe und Mutter, verwendet, während Punktschweißverbindungen kein weiteres Material für die Herstellung einer Verbindung benötigen. Insbesondere vor dem Hintergrund der Kostenbeeinflussung von Verbindungen ist diese Unterscheidung relevant, da für die Beschaffung, den Transport und das Handling notwendiger Verbindungselemente zusätzliche Kosten anfallen, die frühzeitig zu berücksichtigen sind.

Insgesamt leiten sich aus der Charakterisierung einer Verbindung hinsichtlich des genutzten physikalischen Phänomens, der möglichen Relativbewegungen der Verbindungspartner, der Lösbarkeit sowie der Notwendigkeit zur Verwendung von Verbindungselementen die relevanten Eigenschaften ab, die eine Bewertung des Erfüllungsgrades unterschiedlicher, sich mitunter widersprechender Anforderungen ermöglichen.

### 3.2 Anforderungen an die Verbindungstechnik

Die Entwicklung von Verbindungstechniklösungen erfordert die gleichzeitige Berücksichtigung diverser und zum Teil in einem Zielkonflikt stehender Anforderungen. Diese können in die Kategorien Betriebs- und Gebrauchseigenschaften, Funktionsfähigkeit, Systemzugehörigkeit und Umwelt eingeteilt werden [BAU91].

Die Betriebs- und Gebrauchseigenschaften umfassen unter anderem die Lösbarkeit, Beweglichkeit, Elastizität und Leitfähigkeit von Verbindungen. Darüber hinaus werden Anforderungen bezüglich Selbsttätigkeit (bzw. Selbstverstärkung) sowie Kraft- und Wegbegrenzung oder der Notwendigkeit eines Werkzeuges zum Lösen der Verbindung berücksichtigt. Die Betriebs- und Gebrauchseigenschaften bestimmen somit einen wesentlichen Anteil der oben dargestellten physikalischen Charakterisierung einer Verbindung. Die Anforderungen an die konkreten Ausprägungen dieser Eigenschaften ergeben sich aus dem Zweck der Verbindung und den Einsatzbedingungen.

Die Funktionsfähigkeit umfasst insbesondere die Anforderung, dass die verbundenen Bauteile sicher und dauerhaft unter allen vorhersehbaren Betriebsfällen zusammenhalten sollen. Die Sicherheit einer Verbindung ergibt sich dabei häufig auch durch die Notfunktionsfähigkeit, zum Beispiel durch die zweite Raste von PKW-Türschlössern. Weiterhin kann ein mehrfacher Sicherheitszuschlag gegen Überlast sowie die redundante Auslegung der Verbindungen zur Erfüllung der Anforderungen an die Funktionssicherheit beitragen. Weitere Forderungen in diesem Zusammenhang ergeben sich aus der Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Verbindung sowie aus der beanspruchungsgerechten Auslegung.

Im Rahmen der Zugehörigkeit einer Verbindung zu einem System ergeben sich aus den Eigenschaften des jeweiligen Systems weitere Anforderungen. Diese können zum Beispiel im Zusammenhang mit Eigenstörungen, wie Schwingungen oder Temperaturwechseln, stehen oder durch den Anwendungszusammenhang, zum Beispiel in der Medizin, bedingt sein.

Darüber hinaus entstehen auch durch die Umweltbedingungen, in denen das System eingesetzt wird, Anforderungen an die Verbindungstechnik. Dabei sind zum einen physikalische, chemische sowie biologische Einwirkungen zu berücksichtigen. Zum anderen können auch durch gesetzliche Vorgaben bezüglich der Recyclingfähigkeit Anforderungen abgeleitet werden.

Neben den externen Anforderungen an die Ausgestaltung einer Verbindung ergeben sich auch unternehmensinterne Anforderungen bezüglich der Fertigungs- bzw. Montagegerechtigkeit und den Kosten. So sind die im jeweiligen Produktionsbereich verfügbaren Fertigungsverfahren und Betriebsmittel in der Konstruktion zu beachten. Gleichzeitig ist die Gestaltung einer kostengünstigen Verbindung unter Beachtung aller anderen Anforderungen notwendig. Dabei sind nicht nur die Beschaffungskosten für Verbindungselemente, sondern insbesondere auch die Kosten für die Entwicklung und Herstellung der Verbindung in Betracht zu ziehen [BAU91].

Die Gewichtung dieser Anforderungen kann mit Bezug auf die mikroökonomische Betrachtung aus Hersteller- und Kundensicht unterschiedlich ausfallen. Deshalb wird im Folgenden zwischen herstellerezentrierten Anforderungen und kundenzentrierten Anforderungen unterschieden. Unabhängig von einer herstellere- oder kundenzentrierten Sichtweise können mögliche Lösungsalternativen durch etablierte Verfahren bewertet werden, die sich hinsichtlich des Aufwands und der Aussagekraft der Ergebnisse unterscheiden. Zu den Verfahren zählen beispielsweise der paarweise Vergleich, die Punktbewertung, die Nutzwertanalyse oder die technisch-wirtschaftliche Bewertung [VDI98; WAR21].

### **3.2.1 Herstellerzentrierte Anforderungen**

Die mikroökonomische Betrachtung hat aufgezeigt, dass aus Herstellersicht die Verwendung einer wirtschaftlich effizienten Produktionsfunktion einen erheblichen Wettbewerbsvorteil darstellen kann. Ein zentrales Ziel jedes produzierenden Unternehmens ist deshalb, die Produktion mit einer kostenminimalen Kombination aus Werkstoff-, Betriebsmittel- und Arbeitskosten zu ermöglichen. Das gilt auch für die Herstellung von Verbindungen.

Grundlage für die Ermittlung möglicher Produktionsfunktionen ist der Entwurf alternativer konstruktiver Lösungen zur Erfüllung der Verbindungsfunktion (vgl. Kapitel 4.2). So sind unter Berücksichtigung der oben genannten Anforderungen zunächst unterschiedliche Verbindungstechniken sowie eine gegebenenfalls mögliche Integralbauweise gegeneinander abzuwägen (Konstruktionsgerechtigkeit). Die technische Funktionsabsicherung

der gewählten Lösung kann dabei durch Berechnungen, Simulationen und physikalische Tests erfolgen.

Neben der technischen Sicherheit ist auch die Untersuchung der Fertigungsgerechtigkeit für die Auswahl einer geeigneten Verbindung relevant. Digitale Baubarkeitsuntersuchungen dienen in diesem Zusammenhang sowohl zur Sicherstellung der Kollisionsfreiheit der einzelnen Bauteile (statische Baubarkeitsuntersuchungen) als auch der Prüfung der Erreichbarkeit der Montagestelle mit den zur Herstellung der Verbindung notwendigen Betriebsmitteln (dynamische Baubarkeitsuntersuchung) [RES16].

Funktionsfähige, sichere und baubare Alternativen zur Herstellung der Verbindung bilden somit die Grundgesamtheit möglicher Produktionsfunktionen. Diese Alternativen können daraufhin hinsichtlich der notwendigen Faktoreinsatzmengenkombinationen wirtschaftlich bewertet werden. In der Produktion sind die Fertigungszeiten und der Automatisierungsgrad zentrale Einflussfaktoren. Hinsichtlich der Auswahl der notwendigen Betriebsmittel ist bei Schraubverbindungen darüber hinaus die Sicherheitsklassifizierung nach VDI 2862 als Kosteneinflussfaktor maßgeblich [VDI12].

Für eine vollständige Darstellung der im Zusammenhang mit Verbindungen im Automobilbau entstehenden Kosten sind allerdings auch Organisationsbereiche außerhalb der Produktion zu berücksichtigen. Dazu zählen exemplarisch die Entwicklung, die Beschaffung und die Logistik. Ein herstellerorientierter, ganzheitlicher Ansatz zur frühzeitigen, wirtschaftlichen Bewertung der Verbindungsalternativen wird in Kapitel 7 vorgestellt.

### **3.2.2 Kundenzentrierte Anforderungen**

Die kundenzentrierte und somit nutzenorientierte Sicht auf Verbindungen in Fahrzeugen fokussiert sich neben der grundlegenden Anforderung an die Funktionssicherheit auf die Aspekte Reparaturgerechtigkeit und Design.

Die Funktionssicherheit von Verbindungen stellt im Kano-Modell ein Basismerkmal dar, dass keine Wettbewerbsdifferenzierung ermöglicht und dem Kunden in der Regel erst bei Nichterfüllung bewusst wird [SAU96]. Je nach Verbindung kann die fehlende Funktionssicherheit einer Verbindung im Automobil von Verärgerung zum Beispiel durch eine entsprechende Geräuschentwicklung (Kategorie C) bis zur Gefahr für Leib und Leben (Kategorie A) reichen [VDI12].

Abhängig vom Verschleiß der verbundenen Bauteile stellt die Reparaturgerechtigkeit der Verbindung demgegenüber ein Leistungsmerkmal dar, das durch die direkte Auswirkung auf die im Bedarfsfall entstehenden Reparaturkosten die Kundenzufriedenheit erhöht oder verringert. Als Bestandteil der Folgekosten sind die Reparaturkosten somit ein relevanter Faktor für die Zahlungsbereitschaft beim Kauf eines Automobils.

Eine weitere Anforderung an die Verbindungstechnik aus Kundensicht ist das Design. Diese ist jedoch nur für Verbindungen relevant, die das Erscheinungsbild des Automobils

prägen. So sind Verbindungen der äußeren Karosseriebestandteile und im Fahrzeuginnenraum in der Regel unauffällig oder unsichtbar ausgelegt, um das Erscheinungsbild nicht zu stören.

Insgesamt beschränkt sich die Erwartungshaltung von Kunden an die Verbindungstechnik somit in der Regel auf die Zuverlässigkeit der Funktion. Ein Potential hinsichtlich einer Wettbewerbsdifferenzierung ist nur bei der Anforderung an die Reparaturgerechtigkeit und den damit verbundenen Folgekosten zu erkennen.

### 3.3 Verbindungsarten in der Automobilindustrie

In der automobilen Fertigung beschränkt sich das Fügen von Bauteilen auf die Gewerke Karosseriebau und Montage. Die Betrachtung dieser beiden Gewerke hinsichtlich der genutzten Verbindungstechniken zeigt auf, dass im Karosseriebau insbesondere nicht-lösbare Verbindungen eingesetzt werden, während in der Montage in der Regel lösbare Verbindungen zum Einsatz kommen [RES16].

Die wichtigste Verbindungstechnik im Karosseriebau ist das Schweißen. So wird die Karosserie mit 3000 bis 5000 Schweißpunkten gefügt. Darüber hinaus werden schwer zugängliche und hoch beanspruchte Bauteile mittels Metall-Aktivgas-Verfahren (MAG) geschweißt. An einseitig zugängliche Bauteile, insbesondere im Bodenbereich, werden durchschnittlich 150 Bolzen per Lichtbogen-Bolzenschweißen angeschweißt [BRA13].

Neben dem Schweißen werden im Karosseriebau auch die Fügeverfahren Stanznieten sowie Rollfalzen und Kleben eingesetzt. Nur reparaturrelevante Bauteile wie Frontmodule und Stoßfänger werden mit Schraubverfahren an die Karosserie gefügt [BRA13].

Wirtschaftlich betrachtet zeichnen sich die Fügeverfahren im Karosseriebau durch ihren hohen Grad an Automatisierung und die damit verbundenen, hohen Investitionskosten aus.

Im Vergleich dazu ist die Montage durch überwiegend manuelle Tätigkeiten und entsprechend hohen Personalkosten geprägt [EVE89]. Im Automobilbau kommen dabei insbesondere Schraubverbindungen zum Einsatz. Diese Verbindungstechnologie zeichnet sich durch eine große Variantenvielfalt bei der Auswahl der einsetzbaren Verbindungselemente aus. Unterscheidungsmerkmale von Schrauben sind beispielsweise die Geometrie in mehreren Dimensionen, der Werkstoff, die Oberfläche oder diverse Spezialfunktionen wie eine Fädelspitze. Auch hinsichtlich der Auswahl des Schraubverfahrens und der entsprechenden Prozessparameter zur Herstellung der Schraubverbindung existiert eine große Varianz. Neben den Schraubverbindungen werden in der automobilen Endmontage laut Weyand außerdem die Fügeverfahren Ineinanderschieben, Einhängen, Einspreizen, Klemmen, Verpressen, Vernieten sowie Kleben eingesetzt. [WEY10].

Insgesamt weisen die beiden Gewerke aufgrund der unterschiedlichen Verbindungstechnologien und den damit verbundenen Unterschieden in der Variantenvielfalt und der Automatisierung auch abweichende Einsparpotentiale durch eine frühzeitige Kostenbeeinflussung auf. So sind zum Beispiel bei Schraubverbindungen entsprechende Logistik- und Beschaffungskosten zu berücksichtigen, während derartige Kosten beim Punktschweißen nicht anfallen. Darüber hinaus stellt der hohe Personalkostenanteil in der Montage gegenüber der hochautomatisierten Fertigung im Karosseriebau ein zusätzliches Potential für Kostenreduktionen dar. Aus diesem Grund sind für die Erstellung frühzeitiger Kostenprognosen der Verbindungstechnik die unterschiedlichen Anteile der Kostenarten an den Gesamtkosten in Abhängigkeit der verwendeten Technologie zu berücksichtigen.

Insgesamt werden die priorisierten Anforderungen an die Verbindungstechnik in der Entwicklung aggregiert und bei der Gestaltung der Verbindungen der einzelnen Fahrzeugmodule berücksichtigt. Der Prozess von der Produktidee über die Entwicklung bis zur Detailplanung der Fertigungsprozesse wird als Produktentstehungsprozess bezeichnet und im folgenden Kapitel im Hinblick auf die relevanten Entscheidungszeitpunkte in der Entwicklung und Produktionsplanung der Verbindungstechnik beleuchtet.

## 4 Der Produktentstehungsprozess

Der Produktentstehungsprozess beschreibt alle Aktivitäten von der Geschäftsidee bis zum Serienanlauf eines Produktes und umfasst somit im Produktlebenszyklus alle Phasen bis zur Produktnutzung. In Kapitel 2.2 wurde dargelegt, dass ein Großteil der Lebenszykluskosten bereits in frühen Phasen des Produktlebens festgelegt wird. Eine Produktbeeinflussung auf Grundlage zusätzlicher Kostentransparenz erfordert deshalb ein Verständnis des Produktentstehungsprozesses und dessen spezifischen Ausprägungen in der Automobilindustrie.

Die zunehmende Entwicklung mechatronischer Systeme, die die Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Softwaretechnik integrieren, stellt neue Anforderungen an den Produktentstehungsprozess, der die Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionseinführung umfasst [VDI19a]. Mit dem Fokus auf den iterativen Charakter und die gegenseitige Abhängigkeit der Phasen stellt Gausemeier diese Elemente als 3-Zyklen-Modell dar (vgl. Abbildung 10).

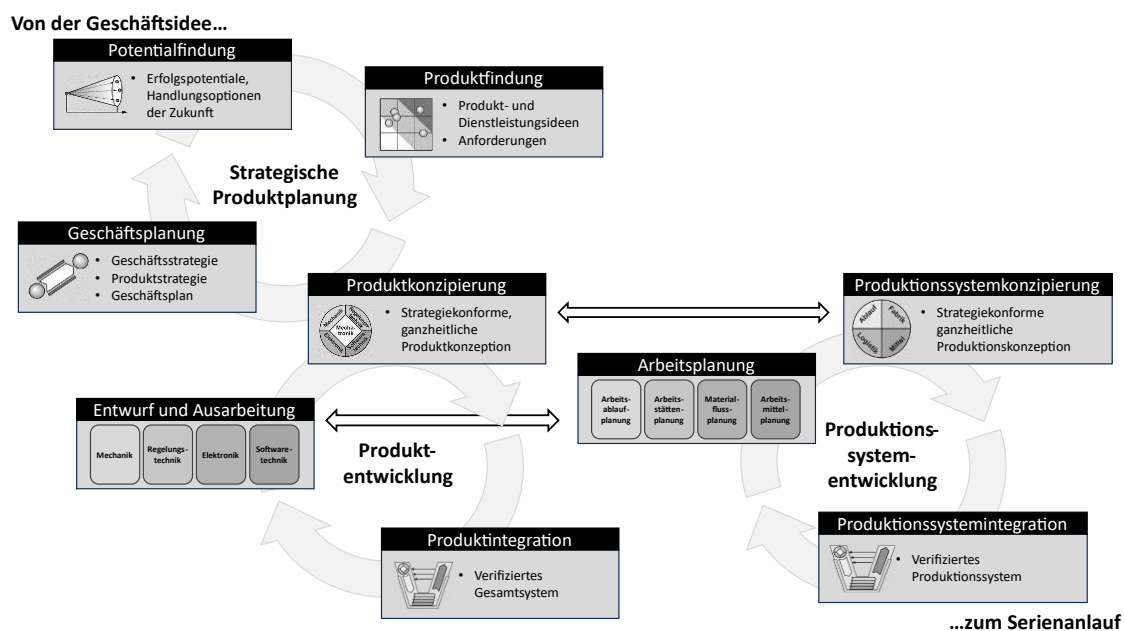


Abbildung 10: 3-Zyklen-Modell der Produktentstehung [GAU14]

Dabei wird der Produktentwicklungszyklus, als Kern der Produktentstehung, in die angrenzenden Prozesse eingebettet. So wird der Produktentwicklung die strategische Produktplanung zur systematischen Erarbeitung des Entwicklungsauftrages vorangestellt. Parallel zum Produktentwicklungszyklus findet die Produktionssystementwicklung statt. Diese umfasst die Aufgaben der Fertigungs- und Logistikplanung mit den Teilbereichen Arbeitsablaufplanung, Arbeitsstättenplanung, Arbeitsmittelplanung, Produktionslogistik und Materialflussplanung. Die Zyklen sind in diesem Zusammenhang nicht als unabhän-

gige, aufeinander aufbauende Prozesse zu verstehen, sondern werden iterativ durchlaufen und weisen eine starke Abhängigkeit in Form eines intensiven Abstimmungsbedarfs zwischen den beteiligten Unternehmensbereichen auf.

In den folgenden Abschnitten werden die Vorgehensmodelle und Aktivitäten innerhalb dieser drei Zyklen betrachtet.

## 4.1 Strategische Produktplanung

Nach VDI 2220 umfasst die Produktplanung „auf der Grundlage der Unternehmensziele die systematische Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren weitere Verfolgung“ [VDI80]. Das Ziel der (strategischen) Produktplanung ist es in der ersten Phase des Produktentstehungsprozesses durch ein systematisches Vorgehen die zukünftigen Anforderungen, Herausforderungen und Potentiale auf den Märkten frühzeitig zu erkennen und auf dieser Grundlage neue Produktideen zu generieren, zu bewerten und deren Umsetzung zu kontrollieren, sodass der Unternehmenserfolg gesichert werden kann.

Für die konkrete Ausgestaltung der methodischen Vorgehensweise in der Produktplanung existieren neben dem Ansatz von Gausemeier und der VDI 2220 weitere Ansätze. Dazu zählen beispielsweise die Produktplanung nach Kramer und die InnovationsRoadmap-Methodik nach Eversheim [EVE03; GAU16b; KRA87; VDI80]. Eine Strukturierung dieser Ansätze kann entlang der Phasen Zielfindung und Analyse, Produktfindung, Umsetzungsplanung und Kontrolle erfolgen [MAT05].

In den Phasen der Zielfindung und Analyse werden zum einen Informationen aus dem Markt und der Umwelt und zum anderen Informationen aus dem Unternehmen als Eingangsgrößen verwendet, um Suchfelder zur Generierung neuer Produktideen zu definieren [VDI80]. Die notwendigen Informationen werden aus einer Vielzahl an einzelnen Analysen zusammengestellt. So schlägt Kramer zunächst die Durchführung einer Umfeldanalyse hinsichtlich der Konjunktur und ökonomischer Rahmendaten vor. Darauf aufbauend seien die eigenen Produkte und Ressourcen sowie die Märkte und die Wettbewerbssituation zu bewerten. Darüber hinaus bilde die Kundenanalyse mit dem Fokus auf zukünftige Entwicklungstendenzen eine zentrale Voraussetzung der weiteren Produktplanung [KRA87]. Gausemeier strukturiert die Analysephase im Rahmen der Methode zur Ermittlung einer Potential-Roadmap. Dabei werden auf Grundlage einer Analyse der Ausgangssituation Markt- und Umfeldszenarien erarbeitet, die zur Ermittlung möglicher Trends dienen. Auf Grundlage eines Referenzszenarios werden daraufhin Potentiale und schließlich Suchfelder abgeleitet, die in der Potential-Roadmap dargestellt werden [GAU16b]. Der Fokus der Innovations-Roadmap-Methodik nach Eversheim liegt zunächst auf dem Unternehmen. So werden im Rahmen der Zielbildung auf Grundlage der übergeordneten Unternehmensziele und -strategien Ziele für Innovationen definiert.



Diese dienen der Ermittlung von Unternehmenspotentialen, aus denen wiederum strategische Geschäftsfelder abgeleitet werden. In einem zweiten Prozessschritt wird für diese Geschäftsfelder eine Zukunftsanalyse zur Identifikation zukünftiger Anforderungen durchgeführt. Auf Grundlage einer Chancenanalyse werden abschließend konkrete Innovationsaufgaben beschrieben [EVE03]. Unabhängig vom konkreten Vorgehensmodell kommen in der Zielfindungs- und Analysephase Methodiken wie die Delphi-Methode, Kreativitätstechniken, Szenariotechniken, Portfolioanalysen, die Gap-Analyse und die SWOT-Analyse zum Einsatz.

Die Produktfindung stellt im Anschluss an die Analysephase den Kern der Produktplanung dar. Diese ist in allen genannten Ansätzen vergleichbar strukturiert. Die VDI 2220 beschreibt den Prozess der Produktfindung in den Phasen Ideenfindung, Selektion und Produktdefinition. Das Ziel der Ideenfindung ist die Generierung von Produktideen innerhalb der definierten Suchfelder, die vor dem Hintergrund der Unternehmenspotentiale erfolgsversprechend erscheinen. In Abhängigkeit unterschiedlicher Merkmale wie beispielsweise der zur Verfügung stehenden Zeit, des Budgets, der fachlichen und kreativen Mitarbeiterqualifikation und der gewünschten Lösungsmenge empfiehlt die VDI-Richtlinie die Anwendung spezifischer Methoden zur Ideensuche. Je nach Ausprägung der Merkmale können Brainstorming, die Methode 635, Ideen-Delphi, Bionik, Synektik und weiteren Methoden verwendet werden. Die anschließende Phase der Ideenselektion dient der Bewertung der generierten Ideen, sodass die erfolgsversprechendsten Produktideen identifiziert werden können. Dafür wird ein dreistufiges Bewertungsverfahren von der Grobbewertung, über die qualitative Feinbewertung bis zur qualitativ-quantitativen Bewertung empfohlen. Dabei steigt mit zunehmender Bewertungsstufe sowohl die Anzahl der Bewertungskriterien als auch die Komplexität der Bewertungsverfahren an, während die Anzahl der zu bewerteten Produktideen reduziert wird. So kann in der ersten Stufe eine einfache Punktbewertung ausreichen, während in der zweiten Stufe die Nutzwertanalyse zum Einsatz kommt und in der dritten Stufe eine Ermittlung konkreter Kennzahlen notwendig ist. Eine mögliche Methode zur Übersetzung der Kunden- bzw. Marktbedürfnisse in priorisierte Entwicklungsziele für die technischen Produktmerkmale ist das Quality-Function-Deployment [FEL21; KRE21; SAA16]. In der Phase der Produktdefinition werden schließlich die in der Selektionsphase ausgewählten Produkte hinsichtlich der technischen Anforderungen, wie Zweck und Funktion, sowie notwendiger Rahmendaten, wie Zielgruppe, Stückzahl und Zeitplan, beschrieben. Am Ende der Phase entsteht dadurch ein Realisierungsvorschlag, der zur Entscheidung über einen Entwicklungsauftrag an das Management übergeben wird [VDI80].

Gausemeier und Eversheim definieren infolge der Produktfindungsphase zusätzlich die Geschäfts- bzw. Umsetzungsplanung als Teil der Produktplanung. Dabei wird ein zusätzlicher Fokus auf die Konkretisierung des Geschäftsmodells hinsichtlich Kundennutzen, Wirtschaftlichkeit und die Ableitung spezifischer Unternehmensaktivitäten gelegt [EVE03; GAU16a; GAU16b].

Den Abschluss der Produktplanung bildet die Kontrollphase. Diese dient zum einen der Erkennung von Planungsabweichungen während der Realisierungsphase und zum anderen der Kontrolle und Steuerung der Produkte. So sind Überwachungssysteme zur Kosten-, Leistungs- und Absatzkontrolle einzurichten und mit Frühwarnsystemen zur Erkennung veränderter Marktbedingungen zu verknüpfen. Auf Grundlage von Schwachstellenanalysen sowie bei Identifizierung von Abweichungen des Istzustandes von der Planung sind geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung zu definieren und umzusetzen [KRA87; VDI80].

## 4.2 Produktentwicklung

Der Produktentwicklungsprozess beschreibt die methodische Vorgehensweise bei der Entwicklung eines marktfähigen Produktes [VDI19a]. Dieses kreative und kognitiv anspruchsvolle Vorgehen ist geprägt von konkurrierenden Zielen, interdisziplinärer Zusammenarbeit und dem Abwägen von Lösungsalternativen. Aus diesem Grund existieren unterschiedliche Sichten auf den Produktentwicklungsprozess, die jeweils bestimmte Aspekte hervorheben [BEN16; GER21a].

Das Verständnis der Produktentwicklung als Problemlöseprozess beschreibt die Transformation eines unbefriedigenden Anfangszustands in eine befriedigende Situation bzw. ein gewünschtes Ergebnis. Im Gegensatz zu einer Aufgabe, bei der die Mittel zur Bewältigung bekannt sind, sind Probleme durch Unklarheit und Komplexität gekennzeichnet. Dabei kann zwischen wohldefinierten Problemen mit bekannter Lösungsstrategie und schlecht definierten Problemen mit unklarer Zielsetzung und Lösungsstrategie unterschieden werden [GER21b]. Die VDI 2221 beschreibt den Problemlösungsprozess mit den Phasen Zielsuche, Lösungssuche und Lösungsauswahl (vgl. Abbildung 11). Dabei wird im Rahmen der Zielsuche zunächst die Situation analysiert und daraufhin das Ziel formuliert. Für die anschließende Lösungssuche werden unterschiedliche Lösungsalternativen in Form von Ideen oder bereits konkreten Lösungen erarbeitet und hinsichtlich ihrer Eigenschaften analysiert. Die abschließende Entscheidung über Abbruch des Vorgehens oder Festlegung auf eine oder mehrere geeignete Lösungen basiert auf der Bewertung der Eigenschaften der Lösungsalternativen [VDI19a].

Auf einer übergordneten Ebene kann die Produktentwicklung auch als Informationsumsatz beschrieben werden. Nach Dörner umfasse dieser Ansatz auch den Problemlöseprozess [DÖR76]. Der Umsatz von Information geschieht in dieser Sicht auf die Produktentwicklung in Form einer Abfolge von Informationsgewinnung, Informationsverarbeitung und Informationsausgabe. Durch die erneute Verarbeitung der höherwertigen Informationsausgabe kann diese Abfolge in einen iterativen Prozess überführt werden. Nach Pahl/Beitz kann die Informationsgewinnung beispielsweise durch Marktanalysen, Fachliteratur, Kundenanfragen, Statistiken oder auch gezieltes Fragen geschehen. Die

Informationverarbeitung erfolge zum Beispiel durch Analyse, Synthese, Ausarbeiten, Berechnen, Korrigieren, Entwerfen und Beurteilen, während die Ausgabe der Information als Skizze, Tabelle, Bericht, Anweisung oder Plan realisiert werden könne [GER21b].

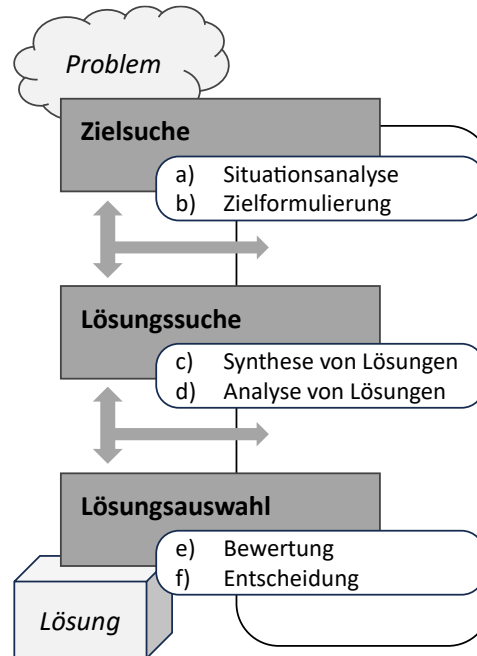


Abbildung 11: Problemlösungsprozess [VDI19a]

Die Produktentwicklung ist durch kreative Tätigkeiten und die intensive Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen geprägt. Aufgrund dieser Komplexität ist in der Regel nur eine sukzessive Annäherung an den Zielzustand bzw. das ausgearbeitete Produkt möglich. Das Verständnis der Produktentwicklung als iterativer Prozess betont diesen Aspekt. Wynn et al. unterscheiden dabei die unterschiedlichen Perspektiven von Iterationen: Exploration, Konvergenz, Verfeinerung, Nachbesserung, Verhandlung und Wiederholung [WYN07]. Iterationen sind somit integrativer Bestandteil der Produktentwicklung. Allerdings können Iterationen in Abhängigkeit ihres Umfangs auch zu erheblichen Mehraufwänden führen. Deshalb sind Iterationen bei der Bearbeitung von einzelnen Aufgaben in der Regel eher unkritisch, während phasenübergreifende Iterationen, die eine Wiederholung vieler Einzelaktivitäten bedingen, vermieden werden sollten [BEN16].

Ein weiterer Aspekt der Produktentwicklung, der direkt mit dem Verständnis des iterativen Charakters und des Problemlösungsprozesses im Zusammenhang steht, ist die Koevolution von Problem und Lösung. Diese beschreibt die schrittweise Näherung an einen Zielzustand durch die wiederholte Anwendung des Problemlösungsprozesses. Dabei führt die Analyse jeder vorhergehenden Lösung zu einem besseren Verständnis über das Kernproblem und verbessert somit die übergeordnete Lösungsbeschreibung evolutionär [BEN16; GER21b]. Wynn et al. ordnen diesen Aspekt in die explorative Perspektive auf Produktentwicklung ein [WYN07].

Neben den unterschiedlichen Sichten auf Produktentwicklung existiert auch eine Vielzahl von Vorgehensmodellen. Die Metaanalyse von 63 Entwicklungsprozessmodellen mit dem Fokus auf die Bereiche Maschinenbau, Softwareentwicklung und Systems Engineering konnte vier Kernphasen und vier optionale Phasen identifizieren [GER12]. Die Kernphasen des Produktentwicklungsprozesses sind demnach die Anforderungsanalyse, die Konzeptphase, die Entwurfsphase und die Ausarbeitungsphase. Darüber hinaus werden modell- und fachbereichsabhängig die Phasen Bedarfsermittlung, Implementierung, Nutzung und Beendigung betrachtet. Zentrale Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung sind nach Herrmann [HER10] die VDI 2221 [VDI19a; VDI19b], die VDI 2206 [VDI04a] sowie die Konstruktionslehren nach Koller [KOL85], Roth [ROT00] und Pahl/Beitz [BEN21]. Im Folgenden wird das Vorgehensmodell nach VDI 2221 sowie das V-Modell nach VDI 2206 näher betrachtet.

Die Basis der VDI 2221 bildet die Systemtheorie und die daraus hervorgehende Beschreibung von Systemen mittels der Grundkonzepten des „funktionalen Konzeptes“, des „strukturellen Konzeptes“ und des „hierarchischen Konzeptes“. Ausgehend von der Betrachtung der Inputs und Outputs des Systems werden zunächst die einzelnen Elemente des Systems betrachtet. Die Elemente wiederum können selbst ein System darstellen, sodass über eine hierarchische Darstellung von Gliederungsebenen eine Darstellung bis auf Bauteilebene ermöglicht wird [VDI19a].

Die bereits dargestellten Sichten auf die Produktentwicklung werden in der VDI 2221 durch notwendige Fähigkeiten der Mitarbeiter ergänzt. Gute Problemlöser zeichnen sich unter anderem durch ein hohes Maß an Selbstreflexion, ein gutes Vorstellungsvermögen und Fakten- sowie Methodenkompetenz aus. Kreativität ist eine wichtige Grundlage für erfolgreiches Problemlösen [LIN16]. Sie wird durch unterschiedliche Fähigkeiten, wie Vorstellungsvermögen, positiv beeinflusst, kann jedoch auch durch Erfahrung, Wissen und intrinsische Motivation gefördert werden. Nach VDI 2806 haben folgende Faktoren Einfluss auf kreatives Arbeiten: kreatives Individuum, kreatives Team, kreativer Prozess, Prinzipien des kreativen Denkens, das kreative Produkt und die Kreativitätsförderung im Unternehmen [VDI15]. Insbesondere die Kommunikation im Team und die Koordination und Kollaboration der Tätigkeiten sind im komplexen, interdisziplinären Kontext der Produktentwicklung laut VDI 2221 hervorzuheben [VDI19a; VDI19c].

Die VDI 2221 beschreibt die Aktivitäten und deren Ergebnisse in einem allgemeinen Modell der Produktentwicklung und ergänzt branchenabhängige Beispiele für die Entwicklungsphasen. Abbildung 12 gibt dieses Modell mit den typischen Phasen eines Automobilherstellers wieder (vgl. auch Kapitel 4.4) und zeigt den Ablauf vom aus der Produktplanung generierten Entwicklungsauftrag bis zur Freigabe der Produktdokumentation auf. Die einzelnen Aktivitäten unterliegen dabei gegebenenfalls notwendigen Iterationen und werden durch wiederholte, virtuelle und physische Absicherungsmaßnahmen begleitet.

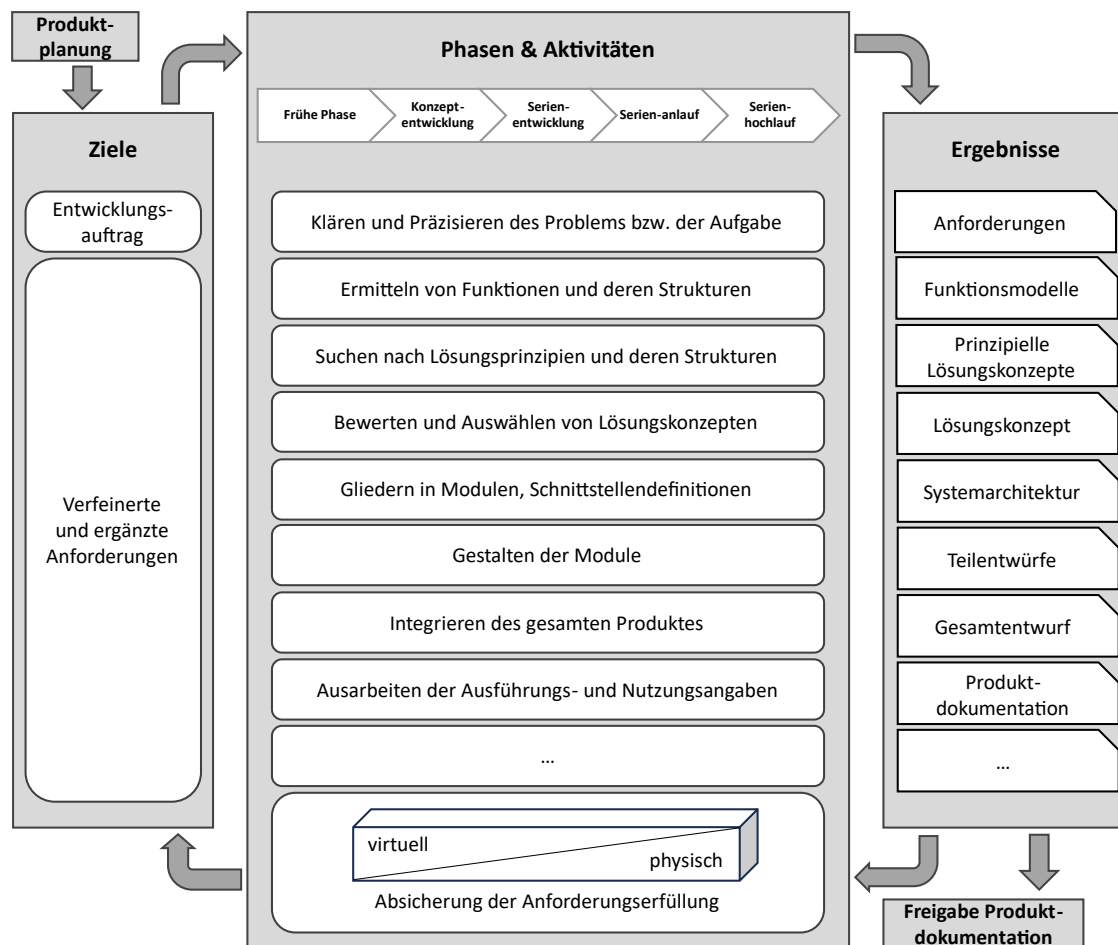


Abbildung 12: Modell der Produktentwicklung am Bsp. eines Automobilherstellers (in Anlehnung an [VDI19a; VDI19b])

Den Ausgangspunkt für die Produktentwicklung bilden die Anforderungen. Diese können sowohl aus der Produktplanungsphase als auch von konkreten Kunden bzw. Auftraggebern initial bereitgestellt werden und beschreiben zunächst das Entwicklungsziel. Die Dokumentation erfolgt als Lasten- bzw. Pflichtenheft. Anforderungen können das Produkt und dessen Bestandteile betreffen, jedoch auch in Form von Zeit-, Kosten- und Qualitätsanforderungen auf das Entwicklungsprojekt selbst ausgerichtet sein. Im Laufe der Entwicklungsphasen und zunehmender Detaillierung des Produktwissens werden die initial gestellten Anforderungen verfeinert und ergänzt. Die Prüfung, Präzisierung, Ergänzung, Strukturierung und Dokumentation der Anforderungen ist ein Bestandteil der Aktivitäten des Produktentwicklungsprozesses. Ein Erfolgsfaktor ist in diesem Zusammenhang die regelmäßige Überprüfung der Anforderungserfüllung mittels virtueller und physischer Absicherungen sowie die finale Abnahme durch einen Soll-Ist-Vergleich [VDI19a].

Aufbauend auf der Aufgabenklärung erfolgt die Ermittlung und Strukturierung der Produktfunktionen. Nach Ehrlenspiel ist die Funktionsstruktur die „abstrakteste Darstellung

eines Produktes“ [EHR17]. Sie dient sowohl der lösungsneutralen Formulierung (Abstraktion) als auch der Modellierung. Eine Funktion besteht aus einem Anfangszustand, einer Operation, die eine Eigenschaftsänderung verursacht, und einem Endzustand. Dabei sind die Zustände und Operationen durch Relationen miteinander verknüpft. Diese Relationen können sowohl Stoff- als auch Energie- oder Signalflüsse darstellen. Insgesamt ermöglicht die Erarbeitung einer Funktionsstruktur somit die lösungsneutrale Darstellung einer funktionalen und gegebenenfalls hierarchischen Baustruktur und der damit zusammenhängenden Flussstruktur von Stoffen, Energie und Signalen [EHR17; FEL16].

Aufbauend auf die Funktionsstruktur sind für jede identifizierte Teilfunktion prinzipielle Lösungsalternativen zu erarbeiten [LUF16]. Nach VDI 2222 bildet die Suche nach (physikalischen) Effekten und deren Verknüpfung mit in der Regel körperlichen Effekträgern den Kern der Suche nach prinzipiellen Lösungen. Auf diese Weise können für die Lösung der jeweiligen Teilfunktion (z.B. Stoff leiten) zunächst ein Wirkprinzip (z.B. Führungseffekt) ermittelt und dafür unterschiedliche Wirkstrukturen erarbeitet werden (z.B. Schubgelenk oder Schraubführung) [VDI97a]. Für die Durchführung dieser Aktivität bieten sich unterschiedliche Kreativitätstechniken zur Unterstützung an. Zu den intuitiven Methoden zählen Brainstorming, Brainwriting mittels der Methode 635, Synektik und die Galeriemethode. Diskursive Methoden wie Verwendung von Ordnungsschemata und Konstruktionskatalogen nutzen hingegen Systematiken zur Lösungssuche [EHR17]. Die Erstellung von Gesamtlösungen durch die Kombination der einzelnen Lösungsprinzipien kann durch die Methode des „Morphologischen Kastens“ unterstützt werden [VDI19a].

Im Rahmen der Bewertung und Auswahl eines Lösungskonzeptes werden die Lösungskonzepte anschließend hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen bewertet. Dabei können in Abhängigkeit unterschiedliche Methoden, wie der paarweise Vergleich oder die Nutzwertanalyse, zum Einsatz kommen [VDI19a].

Im nächsten Schritt erfolgt die Aufteilung des Gesamtsystems in realisierbare Module und die Erstellung einer Systemarchitektur. Die einzelnen Module werden in der Gestaltungsphase häufig parallel weiterentwickelt. Bei der Gestaltung werden Gestalteeigenschaften, wie Form, Abmessungen, Anordnung und Anzahl der Gestaltelemente, sowie die Werkstoffeigenschaften festgelegt. Diese werden sowohl in Form einer Zeichnung bzw. eines Produktmodells als auch in der Stückliste dokumentiert [VDI04b]. Bei der Gestaltung gelten nach VDI 2223, abgeleitet aus den Zielsetzungen, die Grundregeln eindeutig, einfach und sicher sowie die Gestaltungsprinzipien zur Kraftleitung, zur Aufgabenteilung, zur Selbsthilfe bzw. Stabilität und zur fehlerarmen Gestaltung [PAH21; VDI04b]. Die Gestaltung kann hinsichtlich unterschiedlicher Ziele und mit dem Fokus auf bestimmte Folgeprozesse erfolgen. Diese werden durch die „Design to/for X“-Prinzipien ausgedrückt. So wird die sicherheitsgerechte Gestaltung über „Design to Safety“ hervorgehoben, während die Fertigungsgerechtigkeit durch „Design for Manufacture“ priorisiert wird [VDI19a].

Nach der Gestaltung der einzelnen Module werden diese zu einem Gesamtwurf integriert. Abschließend erfolgt die Erstellung der Produktdokumentation. Diese umfasst Herstellungs-, Nutzungs- und Zertifizierungsangaben [VDI19a].

Die beschriebenen Aktivitäten im Produktentwicklungsprozess werden durch Begleit- und Querschnittsprozesse unterstützt und beeinflusst. Beispiele für diese Prozesse sind unter anderem das Projektmanagement, das Risikomanagement, das Änderungswesen, die Normung und Standardisierung und das Kostenmanagement [BEN16]

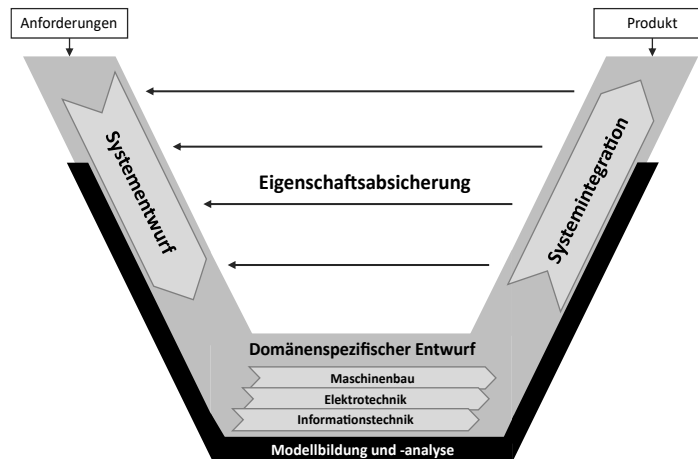


Abbildung 13: V-Modell [VDI04a]

In Ergänzung zur VDI-Richtlinie 2221 sei aufgrund der Relevanz für den Automobilbau auf die VDI-Richtlinie 2206 zur „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ verwiesen [VDI04a]. Neben dem bekannten Problemlösezyklus als Mikrozyklus bildet das V-Modell als Makrozyklus den Kern des Vorgehensmodells (vgl. Abbildung 13). Auf Grundlage der Anforderungsanalyse erfolgt die Erstellung des Systementwurfs als domänenübergreifendes Lösungskonzept. In Analogie zur VDI 2221 beinhaltet dieses die Erstellung einer Funktionsstruktur und Suche nach prinzipiellen Lösungen. Der zusätzliche Aspekt des V-Modells ergibt sich durch die getrennte Konkretisierung des übergreifenden Lösungskonzeptes in den einzelnen Domänen, wie Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik. Im Rahmen der Systemintegration erfolgt schließlich die Integration zu einem Gesamtsystem. Begleitet wird das Vorgehen durch eine ständige Untersuchung der Systemeigenschaften, beispielsweise durch Simulationen, sowie der Absicherung der Systemeigenschaften durch die regelmäßige Überprüfung der Anforderungserfüllung auf allen Abstraktionsebenen [VDI04a].

Insgesamt können auf Grundlage der methodischen Vorgehensweise in der Produktentwicklung Rückschlüsse auf eine zielführende Integration einer frühzeitigen Kostenbeeinflussung erfolgen. So ist die Kostenbeeinflussung zunächst dem Begleitprozess des Kostenmanagements zuzuordnen, der eine Wechselwirkung mit allen Phasen der Produktentwicklung aufweist. Im Zusammenhang mit einer möglichen Standardisierung von

Verbindungstechnik auf Grundlage von Kosteninformationen (vgl. Kapitel 7.5) kann darüber hinaus die Querschnittsfunktion der Normung bzw. des Variantenmanagements einen geeigneten Ansatz für die Integration des Konzeptes in den Produktentwicklungsprozess darstellen. Hinsichtlich der Entwicklungsphasen ist vor dem Hintergrund der Erläuterungen zum Zeitpunkt der Kostenfestlegung (vgl. Kapitel 2.2) eine Verortung in der frühen Phase und der Konzeptphase zielführend. Die Integration von Kostenzielen für die Verbindungstechnik in Form von Anforderungen ist dabei der frühestmögliche der Beeinflussung. Darüber hinaus ist im Hinblick auf die Funktionsstruktur sicherzustellen, dass auch die Verbindungsfunktion der einzelnen Bauteile und Module frühzeitig berücksichtigt wird. Auf diese Weise kann die bewusste Suche nach geeigneten Lösungsprinzipien sowie die aktive Gestaltung der Verbindungsfunktionen sichergestellt werden. Insbesondere die Gestaltung kann dabei durch die Anwendung des „Design-to-cost“-Prinzips mit Kostenprognosen in Abhängigkeit der Art der Ausgestaltung unterstützt werden [MIC89].

### 4.3 Produktionssystementwicklung

Die Entwicklung der Produktionssysteme stellt den dritten Zyklus des Produktentstehungsprozesses dar. Zeitlich ist dieser Zyklus parallel zum Produktentstehungsprozess einzuordnen. Beide Zyklen stellen Anforderungen an den jeweils anderen Zyklus und beeinflussen sich im Entwicklungsverlauf gegenseitig. So stellt die Produktionssystementwicklung beispielsweise Anforderungen hinsichtlich der zu verwendenden Fertigungstechnologie und der Fertigungsgerechtigkeit des Produktes, während die im Produktentwicklungsprozess festgelegte Aufbaureihenfolge die Positionierung der Maschinen und die Reihenfolge der Arbeitsvorgänge einschränkt.

In Analogie zur Kostenfestlegung und -entstehung im Produktlebenszyklus (vgl. Kapitel 2.2) wird auch in den frühen Phasen der Produktionssystementwicklung (Analyse, Strukturfindung und Auslegung) ein Großteil der Kosten festgelegt, während die Kostenverursachung im Wesentlichen in den Phasen der Beschaffung, Inbetriebnahme und im Betrieb verortet werden kann [EVE89]. Aus diesem Grund kann eine frühzeitige Kostenbeeinflussung im Produktentwicklungsprozess auch die Kostenfestlegung in der Produktionssystementwicklung zielgerichtet beeinflussen.

Nach Gausemeier besteht die Produktionssystementwicklung aus den Fachgebieten Arbeitsablaufplanung, Arbeitsmittelplanung, Produktionslogistik und Materialflussplanung sowie Arbeitsstättenplanung [GAU14].

Die Arbeitsstättenplanung bildet den Rahmen der übrigen Aktivitäten, indem ausgehend von der Bebauungsplanung eines Werks die Struktur der Detailplanung bestimmt wird. So findet aufbauend auf dem Bebauungsplan die Konkretisierung der innerbetrieblichen Struktur und der Zusammenhänge der notwendigen Funktionsbereiche statt. Darüber hinaus werden die Produktionslinien geplant und auch die einzelnen Arbeitsplatzflächen,



Lagerbereiche und Transportwege festgelegt. Zusätzlich wird die notwendige Gebäudetechnik ausgeplant, um beispielsweise die Energieversorgung, Klimatisierung und Beleuchtung sicherzustellen [GAU14].

In Abhängigkeit der konkreten Produktentwicklung sowie der durch die Arbeitsstättenplanung festgelegten Rahmenbedingungen erfolgt die Arbeitsablaufplanung. Diese führt auf Grundlage der Aufbaureihenfolge des Produktes die Planung der Fertigung und der notwendigen Betriebsmittel durch. Begleitet werden diese Prozesse durch die Kostenplanung und die Prüfplanung [EVE02]. Ein wichtiges Planungsergebnis ist der Arbeitsplan, der die Folge der Arbeitsvorgänge auftragsneutral pro Arbeitsplatz beschreibt. Mit Hilfe des Arbeitsplans werden die Fertigungs- und Rüstzeiten und die Fertigungsparameter, wie die korrekte Einstellung der notwendigen Maschinen, dokumentiert. In Abhängigkeit zum Erstellungsaufwand, Neuheitsgrad und der fertigungstechnischen Ähnlichkeit können die Arbeitsplanungsarten Neuplanung, Anpassungsplanung, Variantenplanung und Wiederholplanung unterschieden werden [EVE02].

Die Arbeitsmittelplanung zielt auf die Auswahl und die Anordnung der Bearbeitungsmaschinen ab. Die Planungsgrundlage bilden die entsprechend den Entwicklungsergebnissen herzustellenden oder zu montierenden Bauteile, aus denen zum einen die Fertigungstechnologien und zum anderen die Bearbeitungsreihenfolge abgeleitet werden. Die Fertigungstiefe, die Variantenvielfalt und die geplanten Stückzahlen sind in diesem Zusammenhang weitere Einflussfaktoren. Aus diesen Faktoren ergeben sich Anforderungen hinsichtlich der Anzahl und der Flexibilität der Bearbeitungsmaschinen. Nach der Auswahl geeigneter Betriebsmittel erfolgt die Planung der Anordnungsstruktur. Diese orientiert sich an der notwendigen Arbeitsfolge bei der Bearbeitung der Bauteile und kann zur Optimierung des Materialflusses genutzt werden. Falls der Materialfluss nicht klar auszurichten ist, können Anordnungsprinzipien wie die Werkstatt- oder Gruppenanordnung angewendet werden [EVE02].

Die Anordnung der Maschinen definiert den Materialfluss, sodass im nächsten Schritt der Produktionssystementwicklung die Planung der Logistik in Form von Lager- und Transportplanungen erfolgen kann. Aufbauend auf dem Logistikkonzept des Unternehmens erfolgt die Projektierung des Materialflusssystems, der Handhabungssysteme sowie der Lagersysteme. Dabei kann das Materialflusssystem ausgehend von der Branchenwertschöpfungskette über den Materialfluss zwischen den Gewerken und den Materialfluss innerhalb eines Gewerks bis zur Materialbewegung an einem Arbeitsplatz in einem vierstufigen Verfahren betrachtet werden [GAU14].

Insgesamt erfolgt somit auf Grundlage und parallel zur Produktentwicklung die Planung und der Aufbau der Produktionssysteme. Nur durch die Parallelisierung kann die Einhaltung von Zeit- und Kostenzielen in Form eines rechtzeitigen Produktionsstarts sichergestellt werden. Die Ergebnisse der Produktionssystementwicklung beeinflussen die Höhe und den Anteil der Kostenentstehung in der Fertigung erheblich, sodass eine frühzeitige

Produktbeeinflussung in der Produktentwicklung nur unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten zu den Produktionssystemen zielgerichtet erfolgen kann.

#### 4.4 Spezifika der Automobilindustrie

Auf Grundlage der allgemeinen Darstellung der drei Zyklen der Produktentstehung und der Aktivitäten innerhalb dieser Zyklen kann die spezifizierte Vorgehensweise in der Automobilindustrie betrachtet werden. Mit Bezug auf den Produktentwicklungsprozess wird in der VDI-Richtlinie 2221 bereits festgestellt, dass die Phasen der Produktentwicklung nur im Rahmen eines kontextspezifischen Modells unter Berücksichtigung des verfügbaren Prozesswissens zu betrachten sind. So werden für den Kontext eines Automobilherstellers die Entwicklungsphasen „frühe Phase“, Konzeptentwicklung, Serienentwicklung, Serienanlauf und Serienhochlauf vorgeschlagen (vgl. Abbildung 12) [VDI19b].

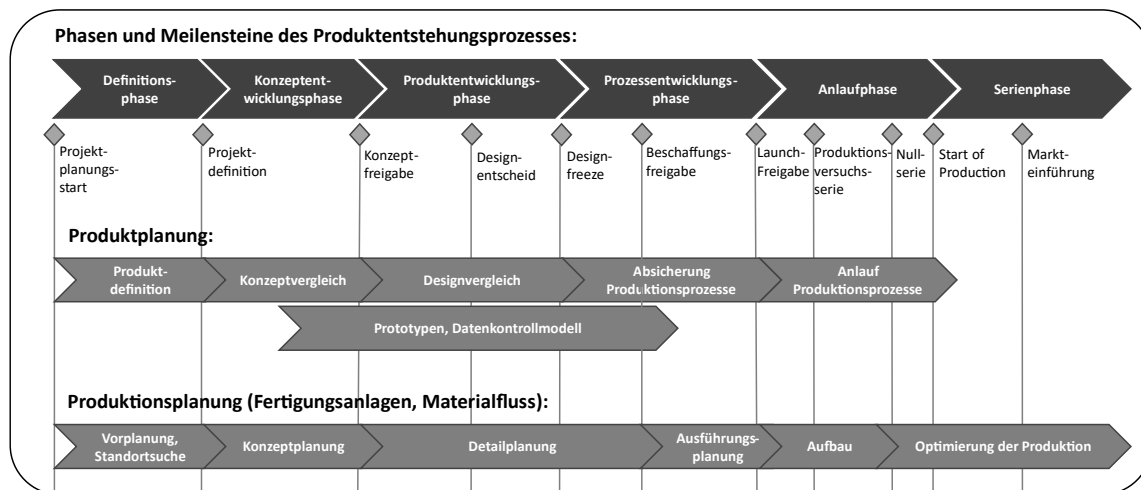


Abbildung 14: PEP in der Automobilindustrie [KER16]

Eine detaillierte Betrachtung der Phasen und Meilensteine innerhalb des Produktentstehungsprozesses nimmt Kerber in einem allgemeinen Prozessmodell vor [KER16]. Auf Grundlage einer Gegenüberstellung von sieben automobilindustriespezifischen Prozessmodellen wird ein sequenzieller Phasenablauf mit relevanten Meilensteinen abgeleitet und ein parallelisierter Ablauf von Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung bzw. Produktionsplanung dargestellt (vgl. Abbildung 14). In Tabelle 1 werden die zentralen Phaseninhalte und Meilensteine näher erläutert.

Tabelle 1: Phasen der Produktentstehung in der Automobilindustrie (in Anlehnung an [KER16])

Phase	Erläuterung
Definitionsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Projektplanungsstart</u>: Die Projektplanung beginnt</li> <li>- Der Entwicklungsauftrag für ein spezifisches Fahrzeugprojekt wurde erteilt.</li> <li>- Grundsätzliche Anforderungen an das Projekt bezüglich Zeit, Ressourcen, Verantwortlichkeiten etc. werden formuliert</li> <li>- <u>Projektdefinition</u>: Fahrzeugplattform ist festgelegt und Standortplanung ist abgeschlossen. Designvarianten wurden eingegrenzt</li> </ul>
Konzeptentwicklungsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung von Produktkonzepten</li> <li>- Technische Absicherung der Produktkonzepte entsprechend den Anforderungen</li> <li>- Auswahl eines Produktkonzeptes</li> <li>- Erstellung und Bewertung alternativer Produktions- und Logistikkonzepte</li> <li>- Auswahl eines Produktions- und Logistikkonzeptes für die weitere Planung der Fertigung</li> <li>- <u>Konzeptfreigabe</u>: Produktkonzept wurde ausgewählt und technisch sowie wirtschaftlich abgesichert</li> </ul>
Produktentwicklungsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchführung aller Entwicklungsaktivitäten</li> <li>- Absicherung durch Prototypen</li> <li>- Durchführung der Prozess- und Layoutplanung für die Fertigungsanlagen</li> <li>- <u>Designentscheid</u>: Design für Datenkontrollmodelle ist vorgegeben</li> <li>- <u>Designfreeze</u>: Detailliertes Fahrzeugdesign ist bestätigt</li> </ul>
Prozessentwicklungsphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung von detaillierten Beschreibungen von Produktionsprozessen und Fertigungsanlagen</li> <li>- Absicherung kritischer Prozesse und Bauteile in Testserien</li> <li>- <u>Beschaffungsfreigabe</u>: Abschluss der Detailplanungen sowie Lieferantenauswahl und Auftragsvergabe ist erfolgt</li> <li>- <u>Launchfreigabe</u>: Ausführungsplanung abgeschlossen und Serienanlauf ist abgesichert</li> </ul>
Anlaufphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Produktionsversuchsserie</u>: Fahrzeugproduktion unter seriennahen Bedingungen, allerdings ohne Vollständigkeit aller Serienwerkzeuge, erfolgreich durchgeführt</li> <li>- <u>Nullserie</u>: Fahrzeugproduktion unter seriennahen Bedingungen und Einsatz aller Serienwerkzeuge erfolgreich durchgeführt</li> <li>- <u>Start of Production</u>: Start der Serienproduktion entsprechend Anlaufkurve erfolgreich abgeschlossen</li> </ul>
Serienphase	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Produktion findet mit der geplanten Stückzahl statt.</li> <li>- Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität, Reduzierung der Kosten und zur technischen Verbesserung des Fahrzeugs werden durchgeführt</li> <li>- <u>Markteinführung</u>: Das Fahrzeug wird in den Zielmärkten an die Kunden ausgeliefert.</li> </ul>

Vor dem Hintergrund der Spezifizierung der Produktentstehungsphase für die Automobilindustrie können auch die Phasen für eine zielgerichtete Kostenbeeinflussung konkreter definiert werden. Da für Kostenprognosen zum einen bereits die Existenz von grundlegendem Produktwissen erforderlich ist und zum anderen eine Produktbeeinflussung

nur frühzeitig im Produktentwicklungsprozess effektiv durchgeführt werden kann, sind die Phasen der Konzeptentwicklung und der Produktentwicklung für die Anwendung der Prozesskostenprognose am besten geeignet. Dabei weisen die Kostenprognosen in der Konzeptentwicklungsphase voraussichtlich nur eingeschränkte Genauigkeit auf, während mit fortschreitender Produktentwicklung die Verlässlichkeit durch eine Zunahme des Produktwissens ansteigt. Im Rahmen der weiteren Betrachtung ist deshalb eine Abwägung zwischen Prognosequalität und Potential zur Kostenbeeinflussung notwendig. Dafür werden in Kapitel 7 zunächst die für die Verbindungstechnik relevanten Aktivitäten analysiert und das für die Durchführung der Prognose notwendige Produktwissen spezifiziert. Anschließend werden Ansätze für die zielgerichtete Produktbeeinflussung mittels Kostenprognosen entwickelt und deren Integration in den Produktentstehungsprozess im Rahmen eines Forschungsprojektes validiert.

## 5 Die Instrumente des Kostenmanagements

In den bisherigen Kapiteln wurde die Notwendigkeit einer frühzeitigen Kostenbeeinflussung, die Verbindungstechnik als Gegenstand der Produktbeeinflussung sowie die relevanten Prozessgrundlagen erläutert. In diesem Abschnitt wird nun zunächst das Verständnis für die Grundlagen des Kostenmanagements geschaffen. Darauf aufbauend wird der Stand der Wissenschaft zu den Kostenrechnungssystemen sowie Instrumenten des Kostenmanagements dargelegt und diese vor dem Hintergrund der spezifischen Anforderungen der frühzeitigen Kostenbeeinflussung der Verbindungstechnik bewertet.

### 5.1 Grundlagen des Kostenmanagements

Der Begriff „Kosten“ beschreibt den bewerteten und durch den betrieblichen Leistungserstellungsprozess bedingten Verzehr von Gütern, während der Begriff „Erlös“ das bewertete Ergebnis dieses Leistungserstellungsprozesses darstellt [FIS08]. Aufbauend auf diesem Verständnis ist das Ziel des Kostenmanagements Kosten durch eine systematische Steuerung und konkrete Maßnahmen so zu beeinflussen, dass ein Unternehmenserfolg erzielt wird [FRA97]. Unternehmenserfolg im Sinne eines Gewinns ist sichergestellt, wenn die Selbstkosten eines Produktes deutlich unter den am Markt erzielbaren Verkaufspreisen liegen. Dabei sind die Selbstkosten die Summe aus Entwicklungskosten, Herstellkosten sowie Verwaltungs- und Vertriebskosten [EHR14]. Durch gezieltes Kostenmanagement wird somit der Güterverzehr für Entwicklung, Produktion und Vertrieb eines Produktes unternehmensbereichsübergreifend minimiert.

Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung stellt das Kostenmanagement eine Neuorientierung der klassischen Kostenrechnung dar. Diese wurde insbesondere vor dem Hintergrund steigender Gemeinkostenanteile, einem starken Vergangenheitsbezug und einer verzerrten Darstellung der mit einem Produkt im Zusammenhang stehenden Kosten notwendig [COO91; JOH87]. Eine Abgrenzung des Kostenmanagements von der klassischen Kostenrechnung anhand von sieben zentralen Kriterien ist Abbildung 15 zu entnehmen. Einige Aspekte, die für die weitere Betrachtung relevant sind, werden im Folgenden hervorgehoben.

Die klassische Kostenrechnung ist auf den Produktionsbereich und die dort entstehenden direkten Kosten fokussiert. Zunehmende Fertigungsgemeinkosten und ein erhöhter Anteil der indirekten Bereiche an den Gesamtkosten führen deshalb zu steigenden Zuschlagssätzen. In der klassischen Kostenrechnung werden diese Gemeinkosten gleichmäßig auf anlagenintensive und arbeitsintensive Produkte sowie auf Einzelstücke, Kleinserien und Massenproduktionen verteilt, sodass eine verursachungsgerechte Gemeinkostenverteilung nicht sichergestellt wird. Das Kostenmanagement verschiebt den Fokus von den direkten Material- und Arbeitskosten auf die indirekten Bereiche und die verursachungsgerechte Verteilung der Gemeinkosten [SCH05; WEL97].

<b>Kritikpunkt</b> an der Kostenrechnung		<b>Neuorientierung</b> im Kostenmanagement
Produktionsorientierung	➔	Verstärkte Betrachtung indirekter Bereiche
Datenorientierung	➔	Informationsorientierung
Innenorientierung	➔	Marktorientierung
Strukturorientierung	➔	Prozess- und Wertschöpfungskettenorientierung
Vergangenheitsorientierung	➔	Frühzeitigkeit und Zukunftsorientierung
Kurzfristigkeit und Periodenorientierung	➔	Langfristigkeit und Lebenszyklusorientierung
Strategieunabhängigkeit	➔	Strategieorientierung

Abbildung 15: Neuorientierung im Kostenmanagement [SCH05]

Das Kostenmanagement orientiert sich zudem an der Bereitstellung bedarfsgerechter Informationen als Grundlage für Bewertungs- und Entscheidungsprozesse. Gegenüber der Kostenrechnung setzt das Kostenmanagement die gewonnenen Daten in einen geeigneten Kontext [HER10], sodass insbesondere die Informationsbedürfnisse des Managements befriedigt werden können [SCH05]. Dabei wird eine Reduzierung der rechnerischen Genauigkeit zugunsten eines höheren Detailgrades und frühzeitig bereitgestellter Informationen akzeptiert [GÜN97].

Die frühzeitige Bereitstellung von Kosteninformationen durch das Kostenmanagement ermöglicht rechtzeitige Korrekturmaßnahmen bei Fehlentwicklungen umzusetzen sowie Potentiale zur Kostenbeeinflussung frühzeitig zu erkennen und zu nutzen [SCH05]. Vor dem Hintergrund der frühzeitigen Festlegung der Kosten im Produktlebenszyklus (vgl. Kapitel 2.2) gewinnt dieser Aspekt des Kostenmanagements weiter an praktischer Relevanz. Demgegenüber ist ein zentraler Kritikpunkt an der klassischen Kostenrechnung, dass, abgesehen von der Plankostenrechnung, die Arbeitsergebnisse erst spät generiert werden. Frühzeitige Korrekturen durch das Management sind dann nicht mehr möglich [JOH87]. Die Kostenrechnung verwaltet dadurch eher die Vergangenheit, als die Zukunft zu gestalten [SCH05].

Ein weiteres Merkmal des Kostenmanagements ist die verstärkte Prozessorientierung der verwendeten Verfahren. Während die Kostenrechnung den Fokus auf die Zuordnung der Kosten auf entsprechende Kostenstellen legt, ermöglicht die Betrachtung der Unternehmensprozesse eine verursachungsgerechte Verteilung der Kosten. So kann eine Zuordnung der in den Kostenstellen verzehrten Güter zu den Prozessen erfolgen, die wiederum den einzelnen Kostenträgern im Leistungserstellungsprozess zugerechnet werden können [REI95].

Die Orientierung des Kostenmanagements an den Produktprojekten und den damit im Zusammenhang stehenden Prozessen führt auch zu einer lebenszyklusorientierten Be-

trachtungsweise der Kosten. Gegenüber der Kostenrechnung, die aufgrund ihres Periodenbezugs zusammenhängende Vorgänge zerschneidet und vor- bzw. nachlaufende Aktivitäten im Produktlebenszyklus verzerrt darstellt, ermöglicht das Kostenmanagement eine dynamische Abbildung von periodenübergreifenden Kosten im Zeitablauf [RAD77].

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Merkmale sind die Ziele des Kostenmanagements die Reduzierung von Kosten, die Verbesserung von Kostentransparenz und Kostenflexibilität sowie die Optimierung des zeitlichen Kostenanfalls [SCH05].

Insgesamt erfüllen die Merkmale der Neuorientierung sowie die Ziele des Kostenmanagements deshalb die Anforderungen an eine frühzeitige, lebensphasenübergreifende und prozessorientierte Prognose der Kosten in der Verbindungstechnik. Darüber hinaus unterstreicht die Informationsorientierung des Kostenmanagements die Notwendigkeit einer bedarfsgerechten Bereitstellung der Kostenprognosen für eine zielgerichtete Produktbeeinflussung. Im nächsten Kapitel werden aus diesem Grund die bekannten Methoden und Kostenrechnungssysteme des Kostenmanagements untersucht, sodass eine Detaillierung der weiteren Vorgehensweise erfolgen kann.

Die Grundlage für die Entwicklung kostengünstiger Produkte und somit für den Erfolg des Kostenmanagements bildet die Verfügbarkeit geeigneter Kosteninformationen und die Verbesserung des Kostenwissens der beteiligten Akteure [FRA97]. Dieses kann nach Ehrlenspiel durch gezielte Weiterbildung der Produktentwickler, eine verbesserte Kommunikation mit Wissensträgern sowie eine gezielte Aufbereitung und Bereitstellung von Kosteninformationen erreicht werden [EHR14]. Ein zentraler Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Frühzeitigkeit der Informationsbereitstellung in Form einer entwicklungsbegleitenden Berechnung der Kosten [HEI95]. Die wichtigsten Kostenrechnungssysteme sind in diesem Zusammenhang die Prozesskostenrechnung, die Zielkostenrechnung, die Lebenszyklusrechnung und die entwicklungsbegleitende Kalkulation [HER10]. Im folgenden Abschnitt werden diese spezifischen Aspekte und Zielsetzungen dieser Vorgehensweisen erläutert.

## 5.2 Prozesskostenrechnung

Ein Prozess beschreibt die in einem logischen Zusammenhang stehende Abfolge von Aktivitäten, wobei der Input durch eine messbare Wertschöpfung in einen Output transformiert wird [SCH12]. Das Ziel der Prozesskostenrechnung ist deshalb den monetär bewerteten Güterverzehr eines Prozesses auf die Kostenträger (Produkte) verursachungsgerecht zu verrechnen.

Die Notwendigkeit der Prozesskostenrechnung ergab sich aus der Feststellung, dass ein immer höherer Anteil der betrieblichen Leistungserstellung durch die indirekten Bereiche erbracht wurde und dadurch der Gemeinkostenanteil der Gesamtkosten stark anstieg. Darüber hinaus hat die Prozesskostenrechnung gegenüber der klassischen Kostenrechnung das Potential bei der Steuerung und Kontrolle verstärkt geschäftsprozessorientiert aufgebaute Organisationen zu unterstützen [DAH14].

Ausgehend von dem Grundgedanken der aktivitäts- bzw. prozessorientierten Kostenverrechnung existieren in der Literatur unterschiedliche spezifische Ausgestaltungen. Die bekanntesten Konzepte sind das Activity-based Costing sowie die daraus abgeleitete und auf die Bedürfnisse im deutschsprachigen Raum angepasste Prozesskostenrechnung. Das Activity-based Costing, das in den USA entwickelt wurde [JOH87], betrachtet die Verteilung der fixen Gemeinkosten durch in Anspruch genommene Aktivitäten, die wenigen, großen Kostenstellen zugeordnet werden. Die Aktivitäten werden dabei zu kostenstellenunabhängigen Aufgaben kombiniert. Demgegenüber liegt der Fokus der Prozesskostenrechnung in Deutschland auf den Gemeinkosten der indirekten Leistungsbereiche. Dabei wird zwischen Subprozessen, die eindeutig einzelnen Kostenstellen zugeordnet werden, und kostenstellenübergreifenden Hauptprozessen unterschieden [WIL04b]. Neben diesen beiden Ausprägungen existieren weitere Begrifflichkeiten wie das Activity Accounting oder das Transaction-based Costing, die spezifische Ausprägungen der prozessorientierten Kostenrechnung darstellen [DAH14]. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die in Deutschland verbreitete Prozesskostenrechnung weiter eingegangen, wobei diverse Aspekte der damit verbundenen Vorgehensweise in ähnlicher Form auch Bestandteil der alternativen Ausprägungsformen sind.

Das Instrument der Prozesskostenrechnung basiert gedanklich auf der Überzeugung, dass Wettbewerbsvorteile und somit unternehmerische Erfolge durch die Summe der Aktivitäten in allen Bereichen eines Unternehmens entstehen [SCH05]. Jede Tätigkeit verursacht Kosten im Sinne eines Güterverzehr und bietet die Möglichkeit für eine Differenzierung gegenüber den Konkurrenten. Porter kategorisiert diese in primäre und unterstützende Aktivitäten. Zu den primären Aktivitäten zählen Eingangslogistik, Operationen, Marketing & Vertrieb, Ausgangslogistik sowie Kundendienst, während Unternehmensinfrastruktur, Personalwirtschaft, Technologieentwicklung und Beschaffung unterstützende Tätigkeiten darstellen [POR99].

Inhaltlich verwendet die Prozesskostenrechnung die aus der klassischen Kostenrechnung bekannte Kostenartenrechnung. Diese teilt die Gesamtkosten in einzelne Kostenarten, wie zum Beispiel die Materialeinzelkosten oder die Lohninzelkosten auf. Die VDI 2234 kategorisiert die Kostenarten in die Gruppen Materialkosten, Arbeitskosten, Kapitalkosten, Fremdleistungskosten und Kosten der menschlichen Gesellschaft, wie zum Beispiel Steuern [VDI90]. Die ebenfalls aus der klassischen Kostenrechnung etablierte Kostenstellengliederung stellt die Grundlage der Prozesskostenrechnung dar, indem für jede Kostenstelle zunächst eine Analyse der kostenstellenbezogenen Tätigkeiten vorgenommen wird. Diese Analyse führt zur Definition von Teilprozessen, die innerhalb der jeweiligen Kostenstellen ablaufen. Dahmen unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen repetitiven Prozessen, die vor allem ausführende Tätigkeiten beinhalten, und nicht repetitiven Prozessen, wie beispielsweise kreativen Tätigkeiten. Demnach können nur die repetitiven Prozesse, die ungefähr 40% der Unternehmensprozesse ausmachen, sinnvoll in die Prozesskostenrechnung einbezogen werden [DAH14]. Darüber hinaus



werden nur die Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung verrechnet, während die Einzelkosten weiterhin über die klassische Kostenrechnung erfasst und verrechnet werden. Die identifizierten Prozesse werden im nächsten Schritt in leistungsmengeninduzierte und leistungsmengenneutrale Prozesse kategorisiert [HOR89]. Letztere sind unabhängig von dem Leistungsvolumen einer Kostenstelle. Dagegen stehen leistungsmengeninduzierte Prozesse in einem direkten Zusammenhang mit dem Leistungsvolumen der Kostenstelle, sodass für diese Prozesse daraufhin die maßgeblichen Kostentreiber zu ermitteln sind. Zum Beispiel stellt die Anzahl der Beschaffungsvorgänge einen möglichen Kostentreiber für den Teilprozess „Vertragsverhandlungen durchführen“ dar. Die Division von Teilprozesskosten (hier: Kosten im Zusammenhang mit der Durchführung von Vertragsverhandlungen) und Prozessmenge (hier: Anzahl der Beschaffungsvorgänge) ergibt schließlich den Prozesskostensatz für den betrachteten Teilprozess [AHL90]. Die Kosten der leistungsmengenneutralen Prozesse können je nach gewähltem Ansatz durch einen Prozesskostensatz verrechnet, den leistungsmengeninduzierten Prozesskosten prozentual aufgeschlagen oder als Sammelposition zusammengefasst werden [DAH14].

Der eigentliche Mehrwert der Prozesskostenrechnung entsteht durch die abschließende Zusammenführung der einzelnen Teilprozesse zu kostenstellenübergreifenden Hauptprozessen. In Abhängigkeit der Prozesse, die im Zusammenhang mit einem Produkt durchzuführen sind, können die in den indirekten Unternehmensbereichen anfallenden Kosten somit verursachungsgerecht verrechnet werden. Beispielsweise wird für ein Produkt mit geringer Fertigungstiefe ein entsprechend höherer Anteil der Prozesskosten für den Hauptprozess „Materialversorgung sicherstellen“ zugerechnet als für ein Produkt, das wenige Zulieferteile benötigt. So ergibt sich für jedes Produkt in Abhängigkeit der in Anspruch genommenen Prozessmengen eine individuelle Verrechnung der Gemeinkosten.

Praktischen Nutzen im Rahmen des Kostenmanagements hat die Prozesskostenrechnung vor allem bei langfristigen und strategischen Entscheidungen [DAH14]. Beispielsweise können auf Grundlage der monetären Bewertung der internen Unternehmensprozesse Make-or-Buy-Entscheidungen unterstützt werden. Darüber hinaus kann der Produktmix eines Unternehmens hinsichtlich potenziell unrentabler Produkte untersucht werden, deren hoher Prozesskostenanteil in den indirekten Bereichen durch die klassische Zuschlagskalkulation nicht transparent wird. In vergleichbarer Weise kann auch die Profitabilität von Kunden zielgerichteter analysiert werden, die durch Liefermengen und Sonderanfertigungen einen erheblichen Einfluss auf die anfallenden Gemeinkosten besitzen. Darüber hinaus ermöglicht die Prozesskostenrechnung eine erleichterte Identifizierung und finanzielle Bewertung nicht wertschöpfender Tätigkeiten, deren Reduzierung zu einer Kostenreduktion führen kann.

Insgesamt liegt der Fokus der Prozesskostenrechnung somit auf der kostenstellenübergreifenden und verursachungsgerechten Kostenverteilung zur Unterstützung von strategischen Entscheidungen im Unternehmen.

Unter Bezug auf die Ziele dieser Arbeit stellt der Grundgedanke einer prozessorientierten Bestimmung von Kosten auf Grundlage des real in Anspruch genommenen Güterverzehr eine geeignete Basis für die Identifikation aller im Zusammenhang mit der Verbindungstechnik anfallenden Kosten dar. Dabei entspricht der entscheidungsorientierte Charakter der Prozesskostenrechnung der Zielsetzung einer Produktbeeinflussung zum Zeitpunkt der Entwicklungsentscheidung. Allerdings steht die Anforderung einer ganzheitlichen Verbindungstechnikkostenerfassung im Widerspruch zu der nur auf die Gemeinkosten der indirekten Bereiche ausgerichteten Prozesskostenrechnung. Darüber hinaus sind im Rahmen dieser Arbeit auch kreative Prozesse zu erfassen. Aus diesen Gründen stellt die Prozesskostenrechnung hinsichtlich der zugrundeliegenden Intention sowie mit Bezug auf die generelle Vorgehensweise einen zielführenden Ansatz, in unveränderter Form allerdings kein hinreichendes Konzept für die weitere Ausarbeitung dar.

### 5.3 Lebenszyklusrechnung

Die Lebenszyklusrechnung ist eine periodenübergreifende, auf den Lebenszyklus eines Produktes (vgl. Kapitel 2.1) ausgerichtete Ergebnisrechnung, die alle Kosten und Erlöse innerhalb der einzelnen Lebensphasen dokumentiert, kontrolliert und optimiert. Dabei werden Abhängigkeiten zwischen den Lebensphasen und zu anderen Erfolgsfaktoren berücksichtigt [SCH05].

Für das Konzept der Lebenszyklusrechnung existieren diverse alternative Begrifflichkeiten, die sich mit Blick auf die inhaltliche Ausrichtung in einigen Aspekten, zum Beispiel bezüglich der Integration von Erlösen, unterscheiden können. So wird auch von Lebenszykluskostenrechnung [REI94], Life Cycle Costing [FRÖ90], Product Life Cycle Costing [COE94; SHI91] Product Life Cycle Management [SIE95] oder Product Life Cycle Cost Management [RÜC94] gesprochen. Grundsätzlich können die unterschiedlichen Ansätze der Lebenszyklusrechnung in nachfrageorientierte und anbieterorientierte Ansätze unterschieden werden. Anbieterorientierte Ansätze setzen den Betrachtungsfokus auf den Hersteller eines Produktes und berücksichtigen dabei in der Regel auch die Erlöse. Demgegenüber steht bei den nachfrageorientierten Ansätzen, die insbesondere im öffentlichen Bereich und dem Militärwesen entwickelt wurden, die Kundensicht im Vordergrund. In diesem Zusammenhang wird auch von Total-Cost-of-Ownership (TCO) gesprochen [HER10].

Die Gründe für den Einsatz der Lebenszyklusrechnung sind vielfältig. Schild unterscheidet in diesem Zusammenhang fünf Kernaspekte [SCH05]:

- Frühzeitige Informationen über die resultierende Kostenfestlegung

- Orientierung an Produktprojekten
- Berücksichtigung aller Kosten und Erlöse im Lebenszyklus
- Zwang zur umfassenden Planung
- Optimierung phasenbezogener Interdependenzen

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2 dargestellten zeitlichen Differenz zwischen Kostenfestlegung und Kostenentstehung ist die frühzeitige Information über die zukünftig anfallenden Kosten als Grundlage der Entscheidungsfindung bei der Bewertung von Lösungsalternativen in der Entwicklung ein zentraler Grund für die Anwendung der Lebenszyklusrechnung. Dieser Aspekt entspricht dem Merkmal der Zukunftsorientierung und Frühzeitigkeit bei der Neuorientierung des Kostenmanagements (vgl. Kapitel 5.1). Die Lebenszyklusrechnung bietet in diesem Zusammenhang durch die Betrachtung der einzelnen Lebensphasen eines Produktes den methodischen Rahmen für eine zielgerichtete Prognose der Folgekosten. Dabei orientiert sich die Lebenszyklusrechnung entgegen der klassischen Kostenrechnung nicht an Zeitpunkten oder Perioden, sondern an den Produktprojekten und die im Zusammenhang mit den Produktprojekten anfallenden, periodenübergreifenden Kosten und Erlösen in den definierten Lebensphasen. Dadurch wird auch eine fiktive Betrachtung jedes Produktes als eigene Unternehmung erleichtert. So gewinnen der Entstehungs- und Nachsorgezyklus durch zunehmend komplexere Produkte und neue Anforderungen an deren Nachhaltigkeit an Bedeutung, sodass der Vergleich der in diesen Zyklen entstehenden Kosten mit den im Marktzyklus erwirtschafteten Gewinnen hinsichtlich der Bewertung eines Gewinnpotentials von besonderer Relevanz ist (Prozessorientierung / Marktorientierung). Die Umsetzung dieses produktbezogenen, ganzheitlichen Ansatzes bei der Betrachtung von Kosten und Erlösen führt zwangsläufig zu einer frühzeitigen und umfassenden Planung auf deren Grundlage unter Berücksichtigung von Planungsunsicherheiten die Entscheidungsfindung auf strategischer Ebene unterstützt werden kann (Strategieorientierung / Informationsorientierung). In diesem Zusammenhang sind auch die Abhängigkeiten zwischen den Lebensphasen zu berücksichtigen, sodass beispielsweise eine Abwägung zwischen zusätzlichen Kosten für Aktivitäten im Bereich des Front-Loadings in der Entwicklungsphase und einer Kosteneinsparung in der nachfolgenden Fertigungsphase erleichtert wird (Langfristigkeit).

Die Ziele der Lebenszyklusrechnung stehen in direkter Verbindung mit den Gründen für die Anwendung des Konzeptes. In der Literatur werden insbesondere die Ziele der Prognose und der Entscheidungsvorbereitung herausgestellt [RIE96; SCH05; ZEH96]. Die Grundlage für eine Prognose stellen Handlungsalternativen dar, deren Auswirkungen auf Kosten und Erlöse in den einzelnen Lebensphasen auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen wirtschaftlich bewertet werden. Diese können im Rahmen der Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung bedarfsgerecht bereitgestellt werden,

sodass den Entscheidern die wirtschaftlichen Konsequenzen auf den Erfolg des Produktes transparent dargestellt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine effektive Beeinflussung der Folgekosten nur in frühen Phasen des Produktlebens möglich ist (vgl. Kapitel 2.2). Deshalb ist eine frühzeitige Einbindung der betriebswirtschaftlich ausgerichteten Lebenszyklusrechnung in den Produktentstehungsprozess von besonderer Bedeutung.

Für die konkrete Umsetzung der Lebenszyklusrechnung existiert aufgrund unterschiedlicher, unternehmensabhängiger Rahmenbedingungen hinsichtlich Branche, Produkt, Projekttyp sowie Markt- und Produktionsbedingungen kein einheitliches Konzept. Deshalb werden im Folgenden mögliche Ausprägungen der Lebenszyklusrechnung in Bezug auf relevante Kategorien der Kostenrechnung vorgestellt.

Zunächst ist festzustellen, dass für die Durchführung der Lebenszyklusrechnung sowohl Einzel- als auch Gemeinkosten in den einzelnen Produktlebensphasen berücksichtigt werden müssen. Diese weisen unterschiedliche Bezüge auf, die für eine ganzheitliche Betrachtung mit den Mitteln des Rechnungswesens, zum Beispiel durch Verwendung bestimmter Kostenrechnungen, zu integrieren sind. Schild unterscheidet in seinem Schichtenmodell in diesem Zusammenhang projektübergreifende, projektbezogene, periodenbezogene und stückbezogene Kosten (vgl. Abbildung 16).

Darüber hinaus existieren bei der Ausgestaltung der Lebenszyklusrechnung diverse Alternativen. So kommen in Abhängigkeit der Betrachtung von Teilkosten oder Vollkosten unterschiedliche Kostenrechnungen zur Anwendung. Dazu zählen das Einzelkostenprinzip, die Deckungsbeitragsrechnung, die Prozesskostenrechnung, das Durchschnittsprinzip, die Zuschlagskalkulation oder die Äquivalenzziffernkalkulation [RIE96; SCH05; ZEH96]. Auch hinsichtlich der Integration der Abzinsung in die Lebenszyklusrechnungsmodelle existiert kein einheitliches Bild. Aufgrund der periodenübergreifenden, langfristigen Ausrichtung der Lebenszyklusrechnung ist die Notwendigkeit der Abzinsung aus ökonomischer Sicht gegeben. Allerdings wird diese zur Verbesserung der Operabilität und zur Erleichterung der Interpretierbarkeit in der Praxis häufig nicht durchgeführt. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal der unterschiedlichen Modelle ist die Ergebnisdarstellung. Diese kann in Form des lebenszyklusbezogenen Produkterfolgs, der lebenszyklusbezogenen Rendite oder der Amortisationsdauer ausgeprägt sein [SCH05].

	Vorlaufphase	Marktphase	Nachlaufphase
Projekt- übergreifend	Kontinuierliche Gemeinkosten ohne Leistungsbezug		
	Projektübergreifende Gemeinkosten mit Leistungsbezug		
Projektbezug	Periodenübergreifende Gemeinkosten (Vorlaufphase)	Projekt	Periodenübergreifende Gemeinkosten (Nachlaufphase)
Periodenbezug		Gemeinkosten in den indirekten Bereichen Gemeinkosten in den direkten Bereichen	
Stück- bzw. Komponentenbezug		Einzelkosten der Herstellung	Einzelkosten des Service und der Entsorgung

Abbildung 16: Schichtenmodell der Gemeinkosten eines Produktprojektes [SCH05]

Zusammenfassend bietet der Ansatz der Lebenszyklusrechnung gegenüber klassischer Kostenrechnungsmodelle die Möglichkeit, Kosten und Erlöse von Produktprojekten entlang ihres Produktlebens zu betrachten. Dabei steht trotz diverser Ausprägungen der existierenden Modelle die Entscheidungsvorbereitung durch lebensphasenübergreifende Kostenprognosen im Fokus des Verfahrens.

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit ist die Anwendung der Lebenszyklusrechnung mit dem Fokus auf die bedarfsgerechte Bereitstellung von Prognosen über die Folgekosten einer Entwicklungsentscheidung im Zusammenhang mit der Verbindungstechnik zunächst ein grundsätzlich geeignetes Verfahren. Allerdings erfordert die Anwendung der Lebenszyklusrechnung wie oben dargestellt eine anforderungsabhängige Ausgestaltung der Vorgehensweise, sodass eine Konkretisierung unabdingbar ist. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die Lebenszyklusrechnung in erster Linie ein Instrument des internen Rechnungswesens darstellt, das strategische Entscheidungen in Bezug auf Produktprojekte unterstützen soll. Demgegenüber liegt der Fokus des in dieser Arbeit verfolgten Ansatzes auf der Unterstützung operativer Entscheidungen innerhalb der technisch ausgerichteten Entwicklungsabteilungen, sodass auch vor diesem Hintergrund eine entsprechende Adaption notwendig ist.

## 5.4 Zielkostenrechnung

Die Zielkostenrechnung (auch „Target Costing“) basiert auf der Feststellung, dass ein Großteil der Herstellkosten bereits frühzeitig im Produktentstehungsprozess festgelegt wird (vgl. Kapitel 2.2). Daraus abgeleitet entstand der Ansatz frühzeitig in der Entstehungsphase Kostenziele zu bestimmen, die auf der Zahlungsbereitschaft der Kunden

und auf den gesamten Lebenszyklus des Produktes bezogenen Renditezielen des Unternehmens basieren. Aufgrund der Lebenszyklusorientierung der Zielkostenrechnung bildet die Lebenszyklusrechnung somit eine Grundlage für dessen Etablierung. Gleichzeitig grenzt sich die Zielkostenrechnung durch die konsequente Kundenorientierung von der in Kapitel 4.2 beschriebenen Design-to-cost-Methode ab. Der hauptsächliche Einsatzzweck der Zielkostenrechnung sind komplexe oder in Massenfertigung hergestellte Produkte, da sich Entwicklungsentscheidungen in diesen Fällen nachhaltig auf die Kosten auswirken [BRI90; COE94].

Der Ablauf der Zielkostenrechnung gliedert sich in die Schritte Zielkostendefinition, Zielkostendekomposition, Zielkostenanalyse, Zielkostenrealisierung und Zielkostenkontrolle [CLE18]. Für die Definition der Zielkosten existieren unterschiedliche Ansätze. Eine Möglichkeit ist die Ermittlung der voraussichtlichen Absatzmenge und des Marktpreises mithilfe der Marktforschung. Der dadurch prognostizierte Umsatz ergibt abzüglich der Zielrendite die „allowable costs“. Diese umfassen sämtliche Kosten, die während der Lebensdauer des Produktes anfallen dürfen. Im Rahmen der Dekomposition erfolgt daraufhin eine Aufteilung der Kosten auf die Produktfunktionen, die Module und schließlich auf die Einzelteile. Die Gewichtung der Kostenverteilung erfolgt auf Grundlage der aus Kundensicht priorisierten Produktfunktionen. Diese können zum Beispiel im Rahmen einer Conjoint-Analyse ermittelt werden. Die Analyse der Einzelteil-Zielkosten im Vergleich zu den üblicherweise anfallenden „drifting costs“ zeigt den Handlungsbedarf zu Kostensenkungen auf. Diese Analyse kann mit den Instrumenten des Zielkostenindex und des Zielkostenkontrolldiagramms unterstützt werden. Im Rahmen der Zielkostenrealisierung werden schließlich durch geeignete Maßnahmen die drifting costs den allowable costs angeglichen. Beispiele für derartige Maßnahmen sind das Benchmarking oder die Analyse der Wertzuwachskurve. Die Zielkostenkontrolle überprüft parallel zum Fortschreiten der Produktentstehung die Erreichung der Zielkosten und ermöglicht die Steuerung und Evaluierung der Vorgehensweise [AX08; CLE18; COE94; COO99; EVE06; GÖT08].

Die Zielkostenrechnung ist im Rahmen dieser Arbeit kein geeignetes Instrument der frühzeitigen Produktbeeinflussung in der Verbindungstechnik, da die Ableitung der spezifischen Kosten für eine definierte Verbindungsstelle auf Grundlage von Kundenpräferenzen und des für das gesamte Fahrzeug zu erzielenden Marktpreises unrealistisch erscheint. Der Grundgedanke der Definition von Zielkosten durch Nutzung eines Benchmarkings auf Basis von Verbindungsalternativen wird allerdings in Kapitel 7.5 im Zusammenhang mit einer möglichen Standardisierung von Verbindungen erneut aufgegriffen.

## 5.5 Entwicklungsbegleitende Kalkulation

Die entwicklungsbegleitende Kalkulation soll durch eine schnelle und frühzeitige Ermittlung von Kosten auf Grundlage von unvollständigen Unterlagen eine Kostenfrüherkennung und Kostenbeeinflussung zum Zeitpunkt der Konstruktionsentscheidung ermöglichen. Dabei kann zwischen der Kostenverfolgung eines vollständigen Produktes und der Kalkulation einzelner Baugruppen und Teile differenziert werden [EHR14].

Es existiert eine große Zahl unterschiedlicher Verfahren zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation, die unter anderem auch Kurzkalkulation, Schnellkalkulation, Ähnlichkeitskalkulation oder Äquivalenzziffernkalkulation genannt wird [HOR97; VDI87a]. Viele dieser Verfahren basieren auf der Ableitung von Kennzahlen und Methodenwissen aus früheren Produkten und Aufträgen, die Aussagen über die Relation zwischen Kostenverursachung in der Konstruktion und der Folgekostenentstehung nachgelagerter Bereiche zulassen [BEC97]. In Abhängigkeit der Produktentstehungsphase stehen für die Umsetzung der Verfahren unterschiedliche Informationen zur Verfügung. Mit fortschreitendem Prozess nimmt die Zuverlässigkeit und der Detailgrad dieser Informationen zu, sodass auch die Kostenprognosen zuverlässiger werden. Gleichzeitig nimmt die Möglichkeit der Kostenbeeinflussung in späteren Phasen der Produktentstehung ab, sodass der Grundsatz „so früh wie möglich, so spät wie nötig“ gilt. Eine Übersicht der in einer spezifischen Phase vorhandenen Informationen gibt Bronner (vgl. Tabelle 2).

*Tabelle 2: Vorhandene Informationen für Kalkulationen in Abhängigkeit der Produktentstehungsphase nach Bronner [BRO98]*

<b>Phase</b>	<b>Vorhandene Informationen</b>
Anfrage	Anforderungen bzgl. Funktionen und Einsatzbedingungen sowie Zielkosten
Grobkonzept	Merkmale und Kosten vergleichbarer Produkte (Gewicht, Abmessungen etc.)
Konzept	Physikalisch-technische Lösungswege
Entwurf	Werkstoffe, Gewicht, Gestalt (grob), Wiederholteilkosten
Konstruktion	Werkstoffe, Gewicht, Gestalt (detailliert), Ähnlicheilkosten
Fertigungsplanung	Geplante Fertigungszeiten, geplante Materialkosten, Kostensätze
Fertigung	Teils Ist-Kosten, teils Plankosten
Abrechnung	Ist-Kosten für Material und Fertigung

Entwicklungsbegleitende Kalkulationen erfüllen unterschiedliche Verwendungszwecke. Dazu zählen unter anderem die Unterstützung der Angebotskalkulation, die Kostenkontrolle während der Entwicklung, die Erkennung von Kostensenkungspotentialen sowie der Vergleich mit internen oder externen Alternativen (Benchmarking). Der Ablauf zur

Einführung der entwicklungsbegleitenden Kalkulation lässt sich grundsätzlich wie folgt beschreiben: Projektplanung und Anforderungsdefinition, Einflussgrößenermittlung, Datenaufnahme und -prüfung, (statistische) Auswertung, Ergebnisdarstellung und Einführung in den Betrieb [EHR14].

Erläuterungen zu den gängigsten Verfahren der entwicklungsbegleitenden Kalkulation sind Tabelle 3 zu entnehmen:

*Tabelle 3: Verfahren der entwicklungsbegleitenden Kalkulation*

<b>Bezeichnung</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Expertenschätzung</b> [BRO98; EHR14; FIS08]	Die Schätzkalkulation stellt nach VDI 2235 kein Verfahren der Kurzkalkulation dar [VDI87a]. Dennoch wird das Verfahren in der Literatur im Rahmen der entwicklungsbegleitenden Kalkulation betrachtet. Das Verfahren beruht auf den Erfahrungen der beteiligten Personen in Bezug auf vergleichbare Verfahren und Bauteile. Es wird eine analytische Vorgehensweise in Form der Schätzung einzelner Kostenbestandteile sowie die unabhängige Durchführung des Verfahrens mit mehreren Personen empfohlen.
<b>Ähnlichkeitskalkulation</b> [EHR14; FIS08; HIL86; KÖN95; VDI87a]	In dem auch Suchkalkulation genannten Verfahren werden Kosten durch Vergleiche mit ähnlichen Produkten prognostiziert. Ähnlichkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, dass wesentliche kostenbestimmende Merkmale übereinstimmen. Es können geometrische, fertigungstechnische, funktionale und physikalische Ähnlichkeit unterschieden werden. Das grundsätzliche Vorgehen besteht aus der Bestimmung der kostenrelevanten Merkmale, der Suche nach ähnlichen Objekten und der Kalkulation des neuen Objektes.
<b>Analytisch erstellte Kostenfunktionen</b> [EHR14; FIS08; VDI97c; VDI87a]	Physikalische Gesetzmäßigkeiten oder produktionstheoretisch fundierte Verbrauchsfunktionen stellen die Grundlage für analytisch erstellte Verbrauchsfunktionen dar. Bei der Gewichtskostenkalkulation werden beispielsweise die Herstellkosten pro Gewichtseinheit eines vergleichbaren Produktes mit dem Gewicht des in Entwicklung befindlichen Produktes multipliziert, um dessen Herstellkosten zu prognostizieren. Die Materialkostenmethode basiert auf der Annahme, dass die Relation von Material- und Herstellkosten konstant bleibt, während die Kalkulation über eine leistungsbestimmende Größe von einer Abhängigkeit zwischen einer bestimmten Produkteigenschaft und den Kosten ausgeht.



	<p>Für die Erstellung von Bemessungsgleichungen hingegen wird zunächst anhand eines physikalischen Gesetzes die Abhängigkeit zwischen Produktfunktion und technischer Eigenschaft in einer Beanspruchungsgleichung dargestellt. Daraufhin wird die Abhängigkeit zwischen konstruktiven Merkmalen und Kosten in einer Kostengleichung ausgedrückt. Abschließend können beide Gleichungen anhand gemeinsamer Variablen verknüpft werden, um durch Auflösung nach den Kosten die Bemessungsgleichung für die Prognose von Kosten zu erhalten.</p>
<p><b>Statistisch erstellte Kostenfunktionen</b> [BRO98; EHR14; FIS08; VDI87a]</p>	<p>Das Ziel statistisch erstellter Kostenfunktionen ist die Spezifikation eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Kosten und einem oder mehreren konstruktiven Merkmalen. Dabei wird eine Stichprobe an vorhandenen Daten mittels einfacher oder multipler Regression hinsichtlich eines statistischen Zusammenhangs zwischen Kosten und Einflussgrößen untersucht. Auf Grundlage der Bestimmung der Einflussgrößen und des Funktionstyps wird dafür zunächst die Regressionsfunktion erstellt. Aufgrund des erheblichen Rechenaufwandes wird dafür in der Regel spezialisierte Software eingesetzt. Das Ergebnis der Regressionsfunktion wird abschließend hinsichtlich der Zuverlässigkeit beurteilt. Dafür kann beispielsweise das Bestimmtheitsmaß verwendet werden.</p>
<p><b>Detaillierte Kostenprognosen</b> [FIS08]</p>	<p>Detaillierte Kostenprognosen nach Fischer sind ein analytisches Verfahren, das auf Grundlage eines abgeschlossenen Entwurfs mittels eines analytischen Verfahrens die Kosten von Bauteilen und Fertigungsschritten prognostiziert. Dabei werden die Materialkosten (Materialeinzelkosten zzgl. Materialgemeinkostenzuschlägen) pro Werkstoff und Halbzeug zunächst in einer Kostendatenbank hinterlegt. Die Materialkosten pro Konstruktionsobjekt ergeben sich daraufhin durch den mengenmäßigen Verbrauch der Werkstoffe unter Berücksichtigung möglicher Materialverluste in der Fertigung. Die Fertigungskosten werden durch die Multiplikation von Fertigungskostensätzen und Fertigungszeiten ermittelt, wobei die Fertigungszeiten anhand von in einer Datenbank hinterlegten Durchschnittszeiten einzelner Arbeitsschritte ermittelt werden.</p>
<p><b>Rechnerintegrierte Kalkulation</b> [EHR14]</p>	<p>Das Ziel der rechnerintegrierten Kalkulation ist die Etablierung einer automatisierten Kostenrechnung in Form einer Angebots- und Vorkalkulation zum Zeitpunkt der Konstruktionsentscheidung. Dadurch könnte die Notwendigkeit der</p>

	<p>oben beschriebenen Methoden der Kurzkalkulation entfallen. Ausgangspunkt für die rechnerintegrierte Kalkulation ist die automatisierte Übergabe von CAD-Daten in ein Kalkulationsprogramm, das aufgrund der hinterlegten Geschäftslogik beispielsweise Fertigungszeiten und Fertigungskosten ermitteln und ausgeben kann. Auf diese Weise können die Ziele des Kostenmanagements in Form eines kurzen Regelkreises unterstützt werden.</p>
<p><b>Zielstückkostenkalkulation</b> [SCH04]</p>	<p>Auf Grundlage der differenzierten Zuschlagskalkulation ermöglicht die Zielstückkostenkalkulation sowohl für existierende Produkte als auch im Rahmen entwicklungsbegleitender Kalkulationen neuer Produkte eine vergleichsweise genaue Ermittlung des möglichen Kostenoptimums. Dafür werden die in der Zuschlagskalkulation üblichen prozentualen Aufschläge der Gemeinkosten weitgehend durch prozessabhängige Einzelkosten konkretisiert. Gleichzeitig erfolgt die Betrachtung ohne Berücksichtigung der existierenden Rahmenbedingungen zum Beispiel in der Fertigung, sodass bei der entwicklungsbegleitenden Anwendung die Beaufschlagung von Sicherheitszuschlägen empfohlen wird.</p>

In Bezug auf die Ziele dieser Arbeit ermöglichen die Verfahren der entwicklungsbegleitenden Kalkulation grundsätzlich die Verbesserung der Kostentransparenz und eine frühzeitige Beeinflussung der Verbindungstechnikkosten zum Zeitpunkt der Konstruktionsentscheidung. Die vorhergehenden Kapitel haben allerdings aufgezeigt, dass aufgrund der Vielzahl der im Zusammenhang mit der Verbindungstechnikentstehung betroffenen Prozesse eine detaillierte, lebensphasenübergreifende Kostenbetrachtung notwendig ist. Aus diesem Grund liefern einfache Verfahren wie die Expertenschätzung oder analytisch bzw. statistisch erstellte Kostenfunktionen mit nur einer oder wenigen Einflussgrößen nicht den angestrebten Detailgrad der Kostenprognose. Zielführender erscheinen die Ansätze von Fischer [FIS08] und Schlößer [SCH04] hinsichtlich einer detaillierten Kostenprognose in Verbindung mit der von Ehrlenspiel [EHR14] beschriebenen rechnerintegrierten Kalkulation mit dem Ziel einer produktlebensphasenübergreifenden Kostenprognose der verbindungstechnikrelevanten Prozesse.

## 6 Untersuchungsdesign

Die Betrachtung des Produktlebenszyklus hat aufgezeigt, dass die Zeitpunkte der Kostenentstehung und Kostenfestlegung eines Produktes voneinander abweichen (vgl. Kapitel 2). Während Kosten vor allem in späteren Lebensphasen entstehen, wird der überwiegende Anteil dieser Kosten bereits in der Planung und Entwicklung festgelegt. Deshalb kann eine effektive Kostenbeeinflussung grundsätzlich nur in frühen Phasen des Produktlebenszyklus durchgeführt werden. In Abhängigkeit der Zielsetzung sind im Rahmen der frühzeitigen Kostenprognose unterschiedliche Lebensphasen in Betracht zu ziehen. Bei einer herstellerorientierten Sicht sind neben den Kosten der Produktentwicklung insbesondere die Kosten in der Herstellungsphase zu analysieren, während bei einer kundenzentrierten Sicht auch die Kosten der Nutzungs- und Entsorgungsphase zu berücksichtigen sind.

Das Fügen von Bauteilen stellt in der Automobilindustrie in den Gewerken Karosseriebau und Montage das zentrale Fertigungsverfahren dar und ist aus diesem Grund auch für einen Großteil der in der Produktion anfallenden Kosten verantwortlich. Für das Fügen stehen unterschiedliche Verbindungstechnologien zur Verfügung, die in Abhängigkeit der spezifischen Anforderung an eine Verbindung eingesetzt werden (vgl. Kapitel 3). Die Kosten einer Verbindung hängen neben der Technologie von weiteren Faktoren ab, sodass alle betroffenen Unternehmensprozesse hinsichtlich ihrer Kostenauswirkung zu betrachten sind.

Eine zielführende, frühzeitige Beeinflussung der Verbindungstechnikkosten ist von der geeigneten Einbindung eines Prognoseverfahrens in den Produktentstehungsprozess abhängig. Aus diesem Grund ist das Verständnis für die Aktivitäten und deren Ergebnisdokumentation als Eingangsgröße für entsprechende Kostenkalkulationen maßgeblich für die Etablierung eines solchen Verfahrens (vgl. Kapitel 4). Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die bedarfsgerechte Bereitstellung der Kostenprognosen für den Entwickler zum Zeitpunkt der Konstruktionsentscheidung.

Das Kostenmanagement bietet eine Vielzahl moderner Methoden der Kostenbeeinflussung und -steuerung. Die Analyse dieser Methoden in Kapitel 5 hat allerdings aufgezeigt, dass vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit ein kombinierter Ansatz notwendig ist. Der Entwurf eines solchen Ansatzes, dessen Ausgestaltung am Beispiel der Verbindungstechnik im Automobilbau und die Validierung im Rahmen eines Forschungsprojektes ist deshalb der Inhalt der folgenden Untersuchung.

## 6.1 Forschungsansatz

Die Ansätze der detaillierten Kostenprognosen und rechnerintegrierten Kalkulation innerhalb der entwicklungsbegleitenden Kalkulationsverfahren bieten einen geeigneten Rahmen für das weitere Vorgehen, indem sie die Komplexität möglicher Kosteneinflussgrößen und deren Zusammenhänge systematisieren und softwaregestützt beherrschbar machen.

Die Lebenszyklusrechnung erzeugt in diesem Zusammenhang durch die periodenübergreifende Kostenbetrachtung aller relevanten Lebensphasen eines Produktprojektes einen Mehrwert für die Gliederung der Kostenermittlung.

Das konkrete Vorgehen zur Kostenermittlung kann schließlich aus der Prozesskostenrechnung abgeleitet werden, indem ausgehend von den (Teil-)Prozessen relevante Kostentreiber in allen Unternehmensbereichen identifiziert und beispielweise über die Ermittlung von Prozesskostensätzen geeignete Prognoseformeln abgeleitet werden. In diesem Zusammenhang ist bei der Definition der Prognoseformeln zu berücksichtigen, welche Daten zum Zeitpunkt der Kostenprognose bereits vorliegen.

Insgesamt entsteht durch die Kombination der beschriebenen Ansätze ein Vorgehensmodell, das auf Grundlage einer Prozess- und Datenanalyse aktueller und vergangener Produktprojekte und unter Berücksichtigung der frühzeitig im Entwicklungsprozess vorhandenen Daten eine entwicklungsbegleitende Prognose der Verbindungstechnikkosten ermöglicht. Dieses Vorgehen wird in den folgenden Kapiteln am Beispiel der frühzeitigen Kostenbeeinflussung der Verbindungstechnik im Automobilbau unter der Bezeichnung „Prozesskostenprognose“ operationalisiert.

## 6.2 Methodischer Aufbau

In den folgenden Kapiteln wird ein ganzheitliches Konzept für die frühzeitige wirtschaftliche Bewertung der Verbindungstechnik im Automobilbau mittels einer Prozesskostenprognose entwickelt. Diese stellt in Abhängigkeit der Lebensphase, in der die jeweiligen Kosten anfallen, sowie in Abhängigkeit der Verbindungstechnik die relevanten Geschäftsprozesse und deren Kostentreiber dar. Im Fokus stehen dabei die bei dem Hersteller anfallenden Selbstkosten der Verbindungstechnik. Auf Basis dieses Konzeptes wird weiterhin ein Assistenzsystem entwickelt, das eine bedarfsgerechte Bereitstellung der prognostizierten Prozesskosten im Konstruktionsprozess und somit eine effektive Kostenbeeinflussung durch den verantwortlichen Konstrukteur ermöglicht.

Die methodische Vorgehensweise zur Erreichung dieser beiden Ziele ist deshalb wie folgt:

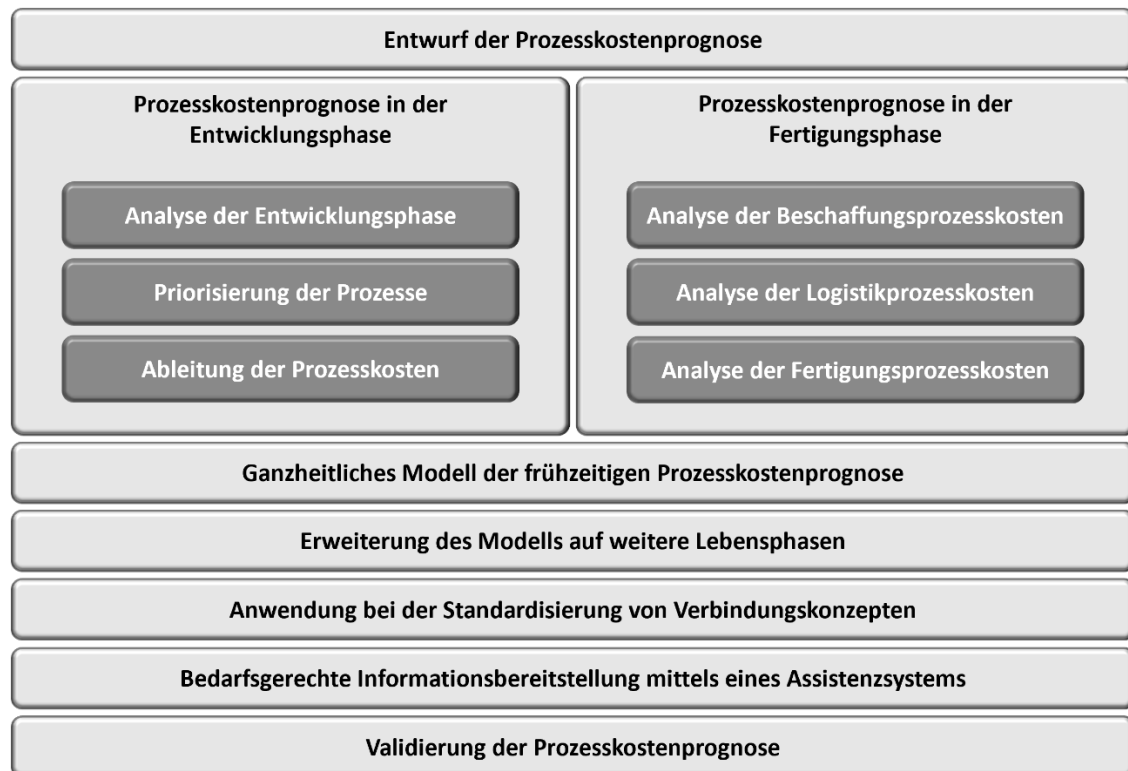


Abbildung 17: Methodische Vorgehensweise bei Entwurf, Durchführung und Validierung der Prozesskostenprognose

Zunächst werden in den relevanten Lebensphasen die zentralen Prozesse analysiert, um die Kostentreiber der jeweiligen Phase zu identifizieren.

Dabei stehen zunächst der Produktentstehungsprozess (vgl. Kapitel 7.1) sowie der Fertigungsprozess (vgl. Kapitel 7.2) im Zentrum der Betrachtung. In diesem Zusammenhang werden die Kostentreiber in den folgenden Kategorien untersucht:

- Kosten der Produkt- und Prozessentwicklung
- Anpassungs- und Änderungskosten
- Betriebsmittelkosten
- Logistikkosten
- Beschaffungskosten
- Fertigungskosten
- Instandhaltungskosten

In Abhängigkeit der frühzeitig verfügbaren Daten und der Spezifika der Verbindungstechnik werden daraufhin die Prozesskosten der identifizierten Kostentreiber ermittelt. Dabei wird auch die Relevanz der Kostentreiber für die unterschiedlichen Verbindungstechniken betrachtet, sodass eine Priorisierung in Abhängigkeit der eingesetzten Verbindungstechnik ermöglicht wird.

Die Ergebnisse der einzelnen Analysen werden daraufhin in Kapitel 7.3 zu einem Gesamtkonzept der Prozesskostenprognose zusammengefasst. Eine optionale Erweiterung auf weitere Lebensphasen und Prozesse erfolgt in Kapitel 7.4.

Die Anwendung der Methodik auf eine einzelne Verbindung, wie zum Beispiel einen Schweißpunkt oder eine Schraubverbindung ist im Kontext der Automobilindustrie nur bedingt zielführend. Vielmehr ist im Rahmen der Konstruktion die wirtschaftliche Bewertung der Befestigung ganzer Module mit mehreren Verbindungselementen notwendig. Aus diesem Grund wird in Kapitel 7.5 dargestellt, wie die Anwendung der Prozesskostenprognose auf ganze Verbindungskonzepte bei der projektübergreifenden Standardisierung der Verbindungstechnik unterstützen kann.

Die bedarfsgerechte Bereitstellung der Kosteninformationen durch ein Assistenzsystem wird schließlich in Kapitel 7.6 betrachtet. Dabei wird eine mögliche technische Umsetzung vorgestellt und auf die Integration in den Entwicklungsprozess, die Organisation und die Systemlandschaft eingegangen.

Abschließend wird das Konzept und dessen Umsetzung in Kapitel 8 anhand einer prototypischen Umsetzung im Rahmen eines Forschungsprojektes bei einem Automobilhersteller validiert und die Ergebnisse kritisch diskutiert.

## 7 Frühzeitige Prozesskostenprognose der Verbindungstechnik im Automobilbau

Eine effektive Kostenbeeinflussung kann nur frühzeitig im Produktentstehungsprozess stattfinden. Deshalb ist die Bereitstellung aller relevanten Informationen über die voraussichtlichen Folgekosten einer Konstruktionsentscheidung hinsichtlich Auswahl und Gestaltung der Verbindungstechnik notwendig. Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Prognose dieser Folgekosten ist, dass die relevanten Kostentreiber in den betrachteten Lebensphasen bekannt sind und diese über zum Entscheidungszeitpunkt bereits vorliegende Daten wirtschaftlich bewertet werden können.

Ein Ansatz zur Bewertung von Kosten durch die Identifizierung der Kostentreiber in den relevanten Unternehmensprozessen ist die Prozesskostenanalyse. Diese bietet die Möglichkeit Prozesse kostenstellenübergreifend wirtschaftlich bewertbar zu machen. Dabei wird durch die Berechnung von Prozesskostensätzen für Kostentreiber innerhalb der analysierten Teilprozesse der Anteil der Gemeinkosten reduziert und eine Kostenbewertung ermöglicht, die die konkreten Aktivitäten eines Teilprozesses berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.2).

Im klassischen Ansatz wird die Prozesskostenrechnung für längerfristige und strategische Entscheidungen genutzt [DAH14]. Im Rahmen dieser Arbeit wird hingegen der Grundgedanke einer unternehmensprozessorientierten Kostenbewertung genutzt, um operative Entwicklungsentscheidungen durch frühzeitige Prognosen von lebensphasenübergreifenden Folgekosten zu unterstützen. Deshalb ist zunächst eine Adaption der klassischen Prozesskostenrechnung hinsichtlich einer Anwendbarkeit für die operative Entscheidungsfindung sowie einer lebensphasenübergreifenden Kostenprognose notwendig. Dafür werden der Verbindungstechnik direkt zuordbare Aktivitäten der relevanten Prozesse in den betrachteten Lebensphasen wirtschaftlich bewertet. Die einzelnen Prozesskosten werden daraufhin im Sinne einer detaillierten Kostenprognose (vgl. Kapitel 5.5) zu einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Ein rechnergestütztes Tool ermöglicht schließlich die Bewertung spezifischer Verbindungsalternativen mithilfe des so erstellten Prozesskostenprognosemodells sowie die bedarfsgerechte Bereitstellung der Ergebnisse zum Zeitpunkt der Konstruktionsentscheidung.

Das Vorgehen zur Erstellung des Kostenmodells entspricht dabei weitgehend dem Vorgehen der Prozesskostenrechnung bei einer lebenszyklusorientierten Anwendung (vgl. Abbildung 18). Zunächst werden die zu betrachtenden Lebensphasen identifiziert. Diese sind, wie bereits erläutert, die Entwicklungsphase sowie die Fertigungsphase. Innerhalb dieser beiden Phasen werden daraufhin die Teil- und Hauptprozesse strukturiert analysiert und die jeweiligen Kostentreiber ermittelt. Diese werden im nächsten Schritt zum Beispiel über die Berechnung von Prozesskostensätzen wirtschaftlich bewertbar gemacht und zu einer Gesamtkostenprognose aggregiert. Abschließend ist eine Bereitstellung der Kostenprognosen mittels eines geeigneten Assistenzsystems sicherzustellen.

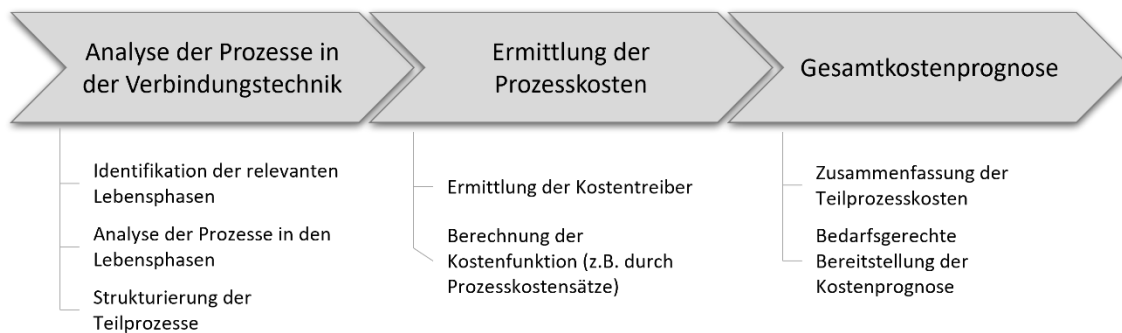


Abbildung 18: Vorgehen in der Prozesskostenprognose (in Anlehnung an VDI 4434 [VDI11])

Die Zielsetzung der Prozesskostenprognose ist deshalb die entwicklungsbegleitende, lebensphasenübergreifende, prozessorientierte Kostenprognose von Verbindungstechnik sowie die frühzeitige und bedarfsgerechte Bereitstellung der Prognoseergebnisse im Produktentwicklungsprozess.

## 7.1 Prozesskostenprognose in der Entwicklungsphase

Die Entwicklungsphase im Automobilbau umfasst neben vielen anderen Aktivitäten auch diverse Prozesse, die im Zusammenhang mit der Verbindungstechnik stehen. Jedes der einzelnen Bauteile und Module im Automobil muss in irgendeiner Form mit der Karosserie oder anderen Komponenten verbunden werden, sodass Verbindungstechnik in allen Entwicklungsbereichen relevant ist.

Auf Grundlage von Kapitel 4 werden im Weiteren zunächst die verbindungstechnik-spezifischen Prozesse von der Anforderungsanalyse bis zur Fertigungsvorbereitung dargestellt und hinsichtlich Ihrer Relevanz für die unterschiedlichen Arten von Verbindungen untersucht. Darüber hinaus wird in Abhängigkeit der Konstruktionsart die Relevanz der Prozesse für die Prognose der Prozesskosten in der Entwicklungsphase analysiert. Darauf aufbauend können die Kostentreiber in dieser Phase abgeleitet und die Prozesskostensätze berechnet werden.

### 7.1.1 Analyse der Entwicklungsphase der Verbindungstechnik

Die Entwicklungsphase der Verbindungstechnik besteht aus diversen einzelnen Prozessen, die von der Anforderungsanalyse bis zum Start der Produktion alle notwendigen Aktivitäten abbilden. Die vornehmlich beteiligten Geschäftsbereiche sind dabei die Konstruktion, die Fertigungsvorbereitung sowie die Beschaffung. Zur besseren Übersicht wird zunächst ein übergeordneter Hauptprozess definiert, der daraufhin durch untergeordnete Teilprozesse detailliert wird. Dabei werden sowohl die Abläufe innerhalb der beteiligten Geschäftsbereiche als auch die wichtigsten Schnittstellen für den Informations-



austausch zwischen diesen Geschäftsbereichen aufgezeigt. Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die durch Änderungen hervorgerufenen Feedbackschleifen, die zu einer Wiederholung bestimmter Teilprozessabfolgen führen können (vgl. Abbildung 19).

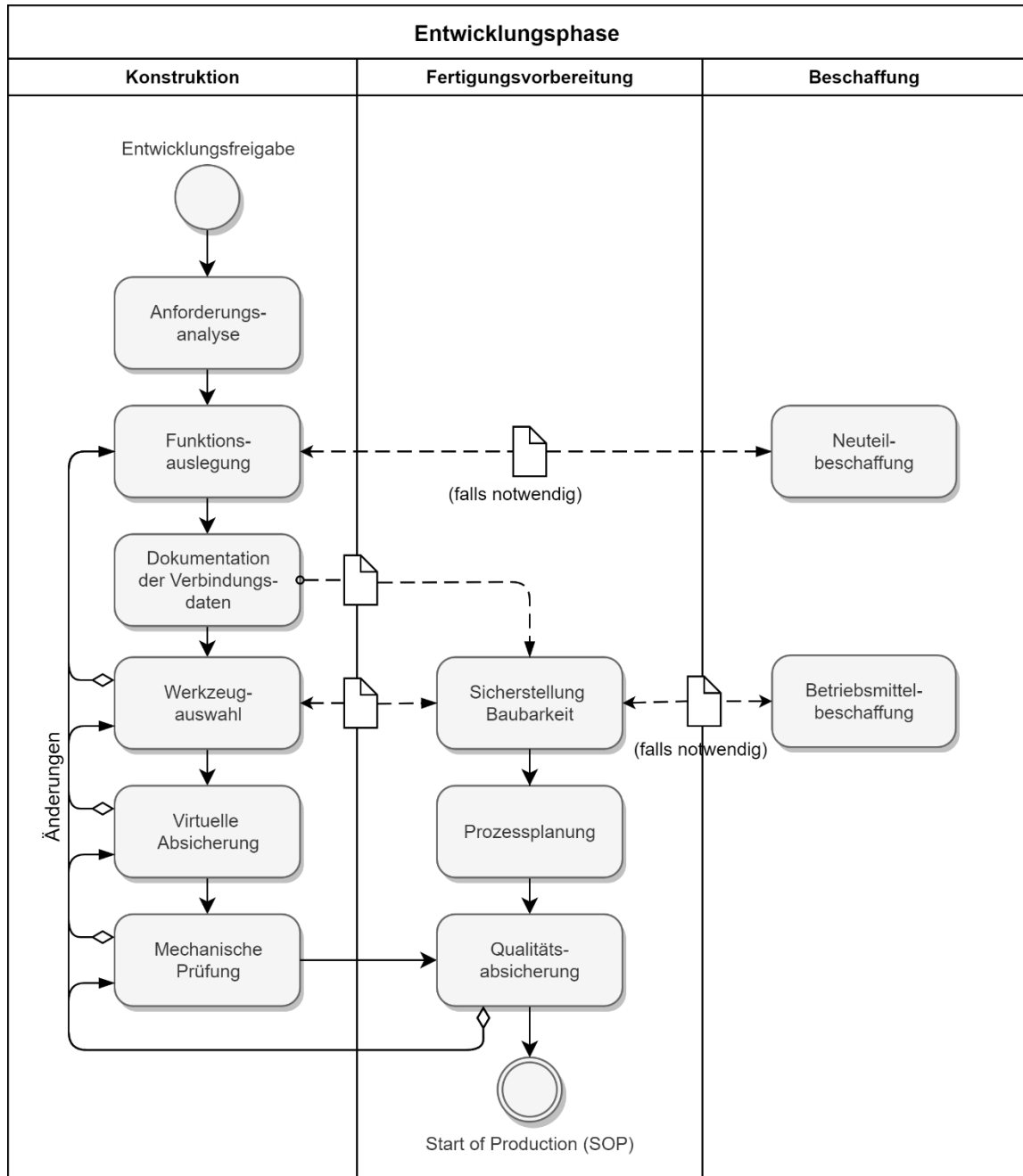


Abbildung 19: Hauptprozess in der Entwicklungsphase der Verbindungstechnik

Nach der Entwicklungsfreigabe bzw. dem Entwicklungsauftrag erfolgt zunächst die Analyse der Anforderungen aus dem Lastenheft. Die Quelle einer Vielzahl der Anforderungen ist dabei der Vertrieb. Dieser hat durch die Nähe zum Kunden die Möglichkeit früh-

zeitig Wünsche und Bedürfnisse von Kunden aufzunehmen und strukturiert in neue Entwicklungsprojekte einzubringen. Auch andere Geschäftsbereiche stellen zum Teil konkurrierende Anforderungen. So hat die Beschaffung zum Beispiel ein Interesse an günstig zu beschaffenden Bauteilen, die zu diesem Zweck möglichst einfach und in großer Stückzahl zu fertigen sein sollten. Gleichzeitig bringt die Produktionsplanung Anforderungen hinsichtlich der Fertigungs- und Montagegerechtigkeit ein, sodass ein hoher Automatisierungsgrad, eine hohe Prozesssicherheit sowie eine Reduktion der Fertigungszeiten im Vordergrund stehen. Aus diesen Anforderungen werden im Rahmen der Anforderungsanalyse konkrete Vorgaben an die Konstruktion der Module und Bauteile zum Beispiel hinsichtlich des Bauraums und der wirkenden Kräfte abgeleitet. Die Anforderungen an die Verbindungstechnik sind dabei häufig nicht eigenständig definiert, sondern werden implizit aus den Anforderungen an die Module und Bauteile abgeleitet. Anforderungen hinsichtlich des Reparaturbedarfs (Lösbarkeit der Verbindung) sowie das vorgehene Gewerk in der Fertigung führen dabei zu Einschränkungen des Lösungsraums bei der Auswahl der Verbindungstechnik. Gleichzeitig können aus den wirkenden Kräften zum Beispiel die notwendige Anzahl der Schweißpunkte oder die Dimensionierung der Schrauben abgeleitet werden, während der Bauraum und die Aufbaureihenfolge die Zugänglichkeit und dadurch die mögliche Positionierung der Verbindungspunkte einschränken.

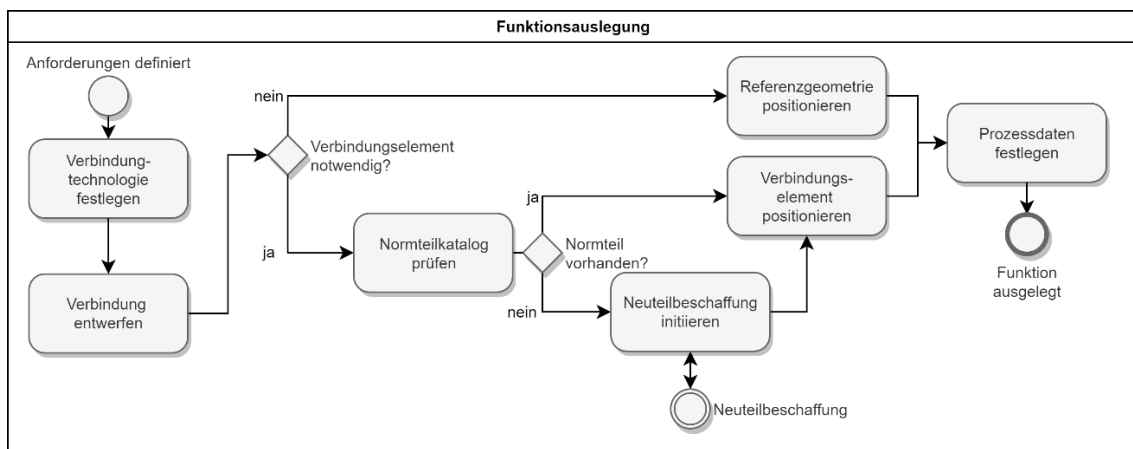


Abbildung 20: Funktionsauslegung der Verbindungstechnik

Aufbauend auf den Anforderungen an die Verbindungstechnik erfolgt die Funktionsauslegung. In Abhängigkeit von Bauraum, Fertigungsgewerk und Reparaturgerechtigkeit kann der Lösungsraum für die Auswahl der Verbindungstechnologie bereits stark eingeschränkt sein. Darüber hinaus existieren in der Regel aus Vorgängerprojekten bereits etablierte Lösungen, die leicht übernommen und hinsichtlich der aktuellen Anforderungen angepasst werden können. In Abhängigkeit der zum Einsatz kommenden Verbindungstechnik findet die Abbildung der Verbindung im CAD-System unterschiedlich statt. So werden Schweißpunkte und andere Verbindungen, die über keine geometrischen

Verbindungselemente verfügen, in der Regel über die Nutzung entsprechender Features im CAD-System als Referenzgeometrie repräsentiert. Diese beinhalten die Lage im Bauroum, die über Koordinaten in Bezug zum Fahrzeugkoordinatensystem oder in Bezug zu anderen Bauteilen beschrieben werden kann, sowie die Orientierung der Verbindung, welche die Richtung des Fügevorgangs angibt. Für Verbindungstechniken, die ein zusätzliches Verbindungselement benötigen, wie zum Beispiel Schraubenverbindungen, wird die Geometrie des Verbindungselementes für die Repräsentation der Verbindung im CAD-System verwendet. Zur Reduzierung der Variantenvielfalt und für die Strukturierung bereits verwendeter Verbindungselemente werden diese häufig in Form von Normteilen katalogisiert. Grundlage für die Strukturierung können diverse Normen wie zum Beispiel die DIN EN ISO 14579:2011-06 für Zylinderschrauben mit Innensechsrund [DIN11b] oder die DIN 7338:2011-03 für Nieten zum Einsatz bei Brems- und Kupplungsbelägen sein [DIN11a]. Die Bereitstellung der verfügbaren Verbindungselemente für den Konstrukteur kann dabei entweder über eine Beratung durch die Normungsstelle des Unternehmens, entsprechende Kataloge oder rechnergestützt mittels eines Assistenzsystems erfolgen. Ein solches System kann sowohl bei der zielgerichteten Suche nach Normteilen und möglichen Prozessparametern als auch bei der Dokumentation und Kommunikation der relevanten Daten an abnehmende Geschäftsbereiche unterstützen [SCH13]. Die Prozessdaten umfassen dabei Angaben wie Anzugsverfahren und Drehmomente in der Schraubtechnik oder Schweißstrom, Elektrodenkraft und Schweißzeit in der Schweißtechnik.

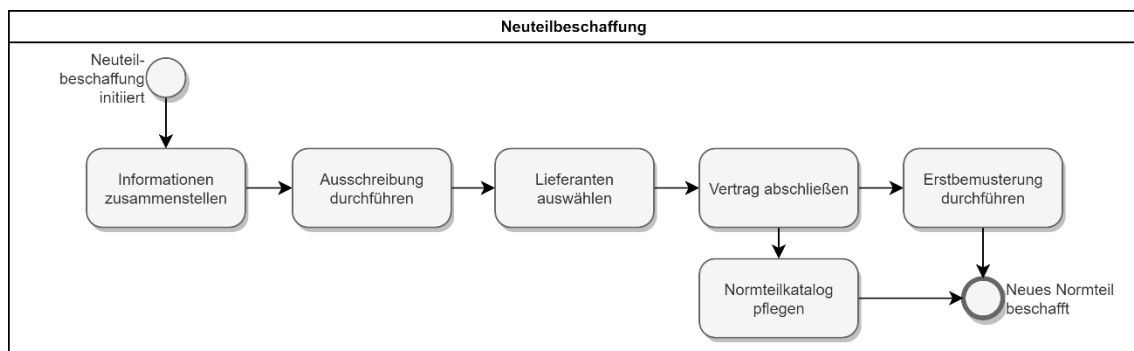


Abbildung 21: Neuteilbeschaffungsprozess

Falls die bereits vorhandenen Normteile den technischen Anforderungen an die Verbindung nicht genügen, kann eine Neuteilbeschaffung initiiert werden. Grundlage für die notwendige Ausschreibung ist die Übergabe aller beschaffungsrelevanter Informationen seitens der Konstruktionsabteilung. Dazu gehören zum Beispiel die technischen Spezifikationen sowie die geplante Stückzahl und Laufzeit. Die Angebote der möglichen Lieferanten werden daraufhin sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht bewertet, sodass in Abhängigkeit der Beschaffungsstrategie (single sourcing vs. multi sourcing) Verträge mit einem oder mehreren Lieferanten geschlossen werden. Daraufhin

erfolgt die Erstbemusterung der Bauteile. Das notwendige Vorgehen ist in der Automobilindustrie im Rahmen des „production part approval process“ in der IATF 16949:2016 weitgehend vereinheitlicht und umfasst auch die Fertigung der Bauteile unter serienmäßigen Bedingungen [BRÜ19]. Parallel zur Bemusterung wird das neue Normteil in die entsprechenden Systeme und Kataloge für die zukünftige Verwendung eingepflegt.

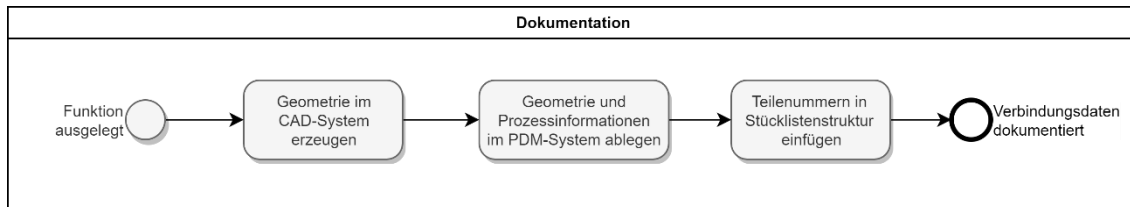


Abbildung 22: Dokumentation von Verbindungen

Im Rahmen der Auslegung der Verbindung erfolgt auch die Erzeugung der entsprechenden Geometrie im CAD-System. Dabei wird in der Regel ein Zusammenbau aus den zu verbindenden Einzelteilen als 3D-Modell erstellt und entsprechende 2D-Zeichnungen abgeleitet. Die Dokumentation der Verbindungsinformationen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. So kann grundsätzlich zwischen der Dokumentation auf Ebene des Zusammenbaus und auf Ebene der Einzelteile unterschieden werden. Bei der Dokumentation auf Zusammenbauebene kann die Dokumentation entweder auf der Zeichnung oder im 3D-Objekt erfolgen. Alternativ können die Informationen auch auf Einzelteilebene abgelegt werden. Dabei kann sowohl ein zusätzliches Einzelteil angelegt werden als auch ein vorhandenes Einzelteil (zum Beispiel das Verbindungselement) verwendet werden. Jede dieser Methoden hat Vor- und Nachteile hinsichtlich der Verwendung in nachfolgenden Prozessschritten und der Umsetzung von Änderungen, sodass auf Grundlage einer Abwägung der Anforderungen an die Dokumentation der Verbindungsinformationen eine unternehmensspezifische Konvention erarbeitet werden muss.

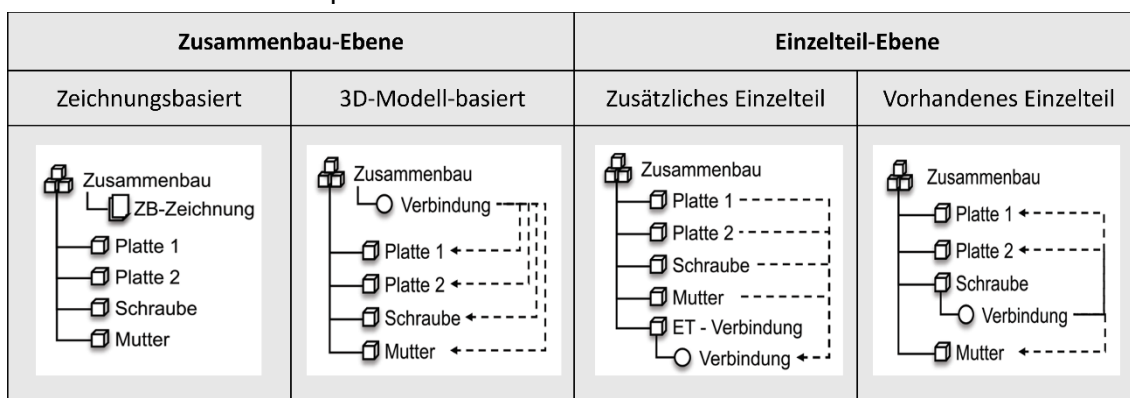


Abbildung 23: Arten der Dokumentation (in Anlehnung an [RES16; VIE05])

Nach der Erstellung der Verbindungsdaten im CAD-System erfolgt die Dokumentation in den nachfolgenden Systemen. Diese sind in der Regel das PDM/PLM-System für die Ablage von Geometrie- und Prozessdaten sowie das Stücklistensystem für die Pflege

der Strukturdaten [GER16]. Die Struktur der Daten kann nach unterschiedlichen Kriterien aufgebaut werden. So existieren in der Regel entwicklungsseitig ausgerichtete Strukturen, die nach Abteilungen, Funktionen oder Bauräumen geclustert sein können, und fertigungsseitig orientierte Strukturen, die die Aufbaureihenfolge abbilden. Dabei ist hinsichtlich der Verbindungstechnik insbesondere die Weitergabe der notwendigen Prozessinformationen an die abnehmenden Bereiche zu berücksichtigen.

In Abhängigkeit der Auslegung der Verbindungstechnik ist auch die Auswahl geeigneter Werkzeuge zu gewährleisten. Dabei stehen in der Regel bereits Standardbetriebsmittel in der Fertigung zur Verfügung. Diese können entsprechend der konkreten Auslegung der Verbindung mit entsprechenden Aufsätzen, zum Beispiel Bits für Schraubwerkzeuge oder Schweißzangen für Schweißroboter, ausgestattet werden.

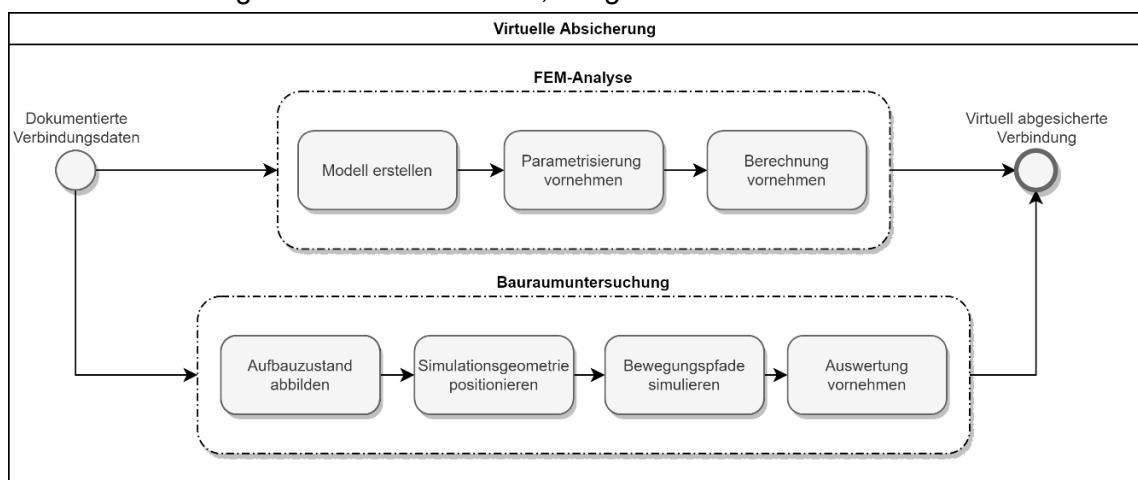


Abbildung 24: Virtuelle Absicherung der Verbindungstechnik

Nach der Funktionsauslegung der Verbindung sowie der Werkzeugauswahl kann die virtuelle Absicherung erfolgen. Dabei können unterschiedliche Methoden und Techniken zum Einsatz kommen, mit deren Unterstützung die Erfüllung wesentlicher Anforderungen an die Verbindungstechnik virtuell überprüft werden. Zwei zentrale Elemente sind in diesem Zusammenhang die Festigkeitsprüfung mittels FEM-Analyse sowie die virtuelle Untersuchung des Bauraums auf Kollisionen und Zugänglichkeit. Auf Grundlage der CAD-Modelle sowie notwendiger Parameter bezüglich der Art und Größe der finiten Elemente, des Materialverhaltens und der von außen einwirkenden Kräften kann die FEM-Analyse die Reaktion von Bauteilen, Baugruppen oder ganzer Fahrzeuge auf äußere Einflüsse, wie zum Beispiel eines Crashes, simulieren. Bauraumuntersuchungen dienen demgegenüber insbesondere der Sicherstellung der Fertigungsgerechtigkeit. So werden mittels „Digital Mock-Ups“ (DMU) unterschiedliche Fahrzeugkonfigurationen virtuell erzeugt. Diese dienen daraufhin unter anderem zur Überprüfung von Kollisionen von Bauteilen im Gesamtfahrzeug, die eine Baubarkeit des Gesamtproduktes verhindern würden. Weiterhin können Baubarkeitsuntersuchungen auf Grundlage der digitalen Modelle durchgeführt werden. Zu diesem Zweck lassen sich entsprechend der Aufbaureihenfolge

definierte Zustände erzeugen, die daraufhin zur Untersuchung der Baubarkeit des jeweils nächsten Produktionsschrittes dienen. Dafür wird zusätzlich eine Simulationsgeometrie des für diesen Produktionsschritt notwendigen Bauteils und des zugehörigen Werkzeugs erstellt und diese in Relation zum Fahrzeug positioniert. Mittels dynamischer Simulation der Bewegungspfade kann dann die Positionierbarkeit von Bauteil und Werkzeug im Fahrzeug überprüft und dadurch die Fertigungsgerechtigkeit abgesichert werden. Insgesamt dient die virtuelle Absicherung der Verbindungstechnik der frühzeitigen Erkennung und Korrektur von Fehlern und senkt gleichzeitig durch die Reduktion von physikalischen Tests die Kosten der Qualitätsabsicherung der Entwicklungsphase.

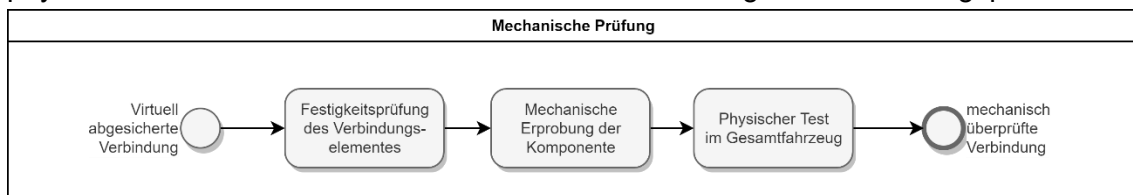


Abbildung 25: Vorgehen bei der mechanischen Absicherung

Trotz umfangreicher virtueller Absicherungen, wie zum Beispiel Simulationen, kann heutzutage noch nicht vollständig auf eine frühzeitige physikalische Absicherung der Konstruktionsergebnisse verzichtet werden. Die Verbindungstechnik wird dabei auf unterschiedlichen Ebenen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen an Dauerfestigkeit und Crashverhalten überprüft. So können vorhandene Verbindungselemente, wie Schrauben, auch im Rahmen der Bemusterung auf ihre Festigkeit überprüft werden. Darüber hinaus werden mechanische Prüfungen der Verbindung auf Komponentenebene und im Gesamtfahrzeug durchgeführt.

Zusätzlich zu den virtuellen Bauraumuntersuchungen des Konstruktionsergebnisses durch die Entwicklung wird auch in der Fertigungsvorbereitung die Baubarkeit durch physikalische Tests abgesichert. Für mechanische Prüfungen der Bauteile sowie Einbauversuche existieren mit dem Versuchsbau in der Regel eigene Unternehmensbereiche. Außerdem wird vergleichbar mit dem Beschaffungsprozess von neuen Verbindungselementen in Abhängigkeit zu den lokalen Gegebenheiten der geplanten Produktionsstätte bei Bedarf auch die Betriebsmittelbeschaffung durchgeführt.

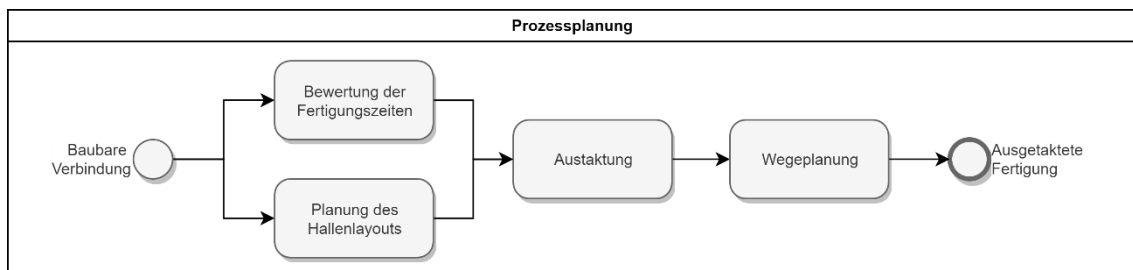


Abbildung 26: Prozessplanung der Verbindungstechnik

Im Zentrum der Tätigkeiten der Fertigungsvorbereitung steht allerdings die Prozessplanung. Diese hat zum Ziel, die Fertigung effizient und prozesssicher zu gestalten. Grundlage für die Prozessplanung sind insbesondere die Konstruktionsergebnisse, wie Modulgeometrien, Prozessdaten, Werkzeuginformationen und Aufbaureihenfolge. Darüber hinaus existieren für den gewählten Produktionsstandort in der Regel Rahmenbedingungen, die bei der Produktionsplanung beachtet werden müssen. Dazu zählen beispielsweise Hallengröße, mögliche Taktanzahl, Automatisierungsgrad der Fertigungswerkzeuge. Vor dem Hintergrund dieser Informationen kann die Grobplanung des Hallenlayouts erfolgen. In diesem Schritt werden wesentliche Meilensteine im Fertigungsprozess verortet, Produktionsflächen und Logistikwege definiert und die Versorgung mit Energie und Betriebsstoffen wie zum Beispiel Druckluft sichergestellt. Parallel können auf Grundlage der Aufbaureihenfolge des konstruierten Produktes die notwendigen Aktivitäten für jeden Fertigungsschritt identifiziert und hinsichtlich des Bedarfs an Zeit und Personal bewertet werden. Ein Verfahren zur Bewertung von Fertigungszeiten ist die MTM-Analyse (vgl. Kapitel 7.2.3). Auf dieser Grundlage kann die eigentliche Austaktung durchgeführt werden. In diesem Schritt werden die bewerteten Fertigungsaktivitäten in Abhängigkeit der vorgegebenen Taktzeit den einzelnen Takten oder Arbeitsbereichen zugeordnet und detailliert ausgeplant. Daraufhin kann auch die Logistikplanung detailliert werden, da aus der erfolgten Austaktung der Bedarf an Bauteilen, wie den Verbindungselementen, pro Zeit an einem definierten Ort abgeleitet werden kann (vgl. Kapitel 7.2.2).

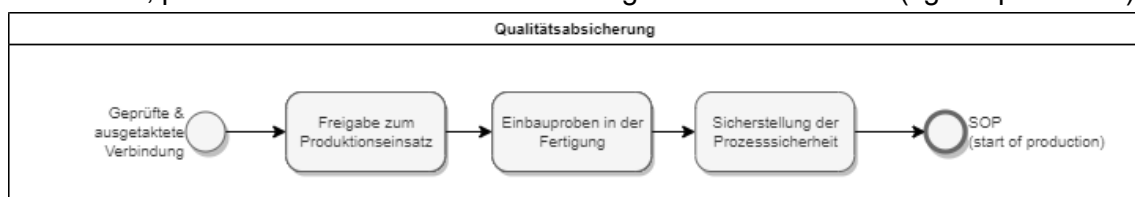


Abbildung 27: Qualitätsabsicherung in der Fertigungsvorbereitung

Zusätzlich zu den Tests und Absicherungen in der Entwicklung findet auch in der Fertigungsvorbereitung eine Qualitätsabsicherung der Produktionsergebnisse statt. In diesem Zusammenhang werden neu beschaffte Bauteile zunächst geprüft und zum Einsatz in der Produktion freigegeben. Darüber hinaus erfolgen Einbauproben, in denen unter Serienbedingungen sowohl die grundsätzliche Zuverlässigkeit der Verbindung als auch die Prozesssicherheit überprüft wird. Dazu zählen beispielsweise die regelmäßige Überprüfung und Eichung der Betriebsmittel, aber ebenso organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung von menschlichen Fehlern. Derartige Maßnahmen sind beispielsweise die Einführung wenig fehleranfälliger Kommissionierverfahren, wie „Pick-by-Light“, oder die Standardisierung bzw. Variantenreduzierung von Verbindungselementen an einem Arbeitsplatz.

Neben den oben vorgestellten und für die Verbindungstechnik relevanten Haupt- und Teilprozessen in der Entwicklungsphase soll abschließend auf den erheblichen Bedarf

an Abstimmungs- und Kommunikationstätigkeiten eingegangen werden. Neben dem eigentlichen Arbeitsaufwand innerhalb der beschriebenen Prozesse ist stets eine Abstimmung mit den jeweiligen Stakeholdern sowohl innerhalb der Abteilung aber auch abteilungs- und bereichsübergreifend notwendig. In der Praxis werden dazu beispielsweise Simultaneous-Engineering-Teams (SET) gebildet, in denen alle Beteiligten bereichsübergreifend in enger Abstimmung arbeiten [DIX98]. Bei der Ermittlung der Prozesskosten ist dieser Aspekt entweder pauschal oder pro Teilprozess als eigene Aktivität zu berücksichtigen.

Insgesamt ist die Entwicklungsphase demnach durch eine Vielzahl unterschiedlicher und in Abhängigkeit der anfallenden Änderungsbedarfe nur ein oder wenige Male anfallender Tätigkeiten geprägt. Da die Erfassung der Aufwände innerhalb dieser Prozesse zur Ableitung der Prozesskosten nicht unerheblich ist, soll im Weiteren zunächst geprüft werden, welche Prozesse für welche Konstruktionsart (Neu-, Anpassungs-, Übernahmekonstruktion) relevant sind, sodass im praktischen Einsatz eine Fokussierung auf die Hauptkostentreiber ermöglicht wird.

### **7.1.2 Priorisierung der Prozesse in Abhängigkeit der Konstruktionsart**

Trotz vieler grundlegender technologischer Veränderungen in der Automobilbranche bestehen für die Verbindung bereits bekannter Module etablierte Lösungen, die auch bei der Entwicklung neuer Modelle und Baureihen eine Neukonstruktion der Verbindungsprinzipien vermeiden. So zeichnen sich Anpassungs- und Übernahmekonstruktionen mit Bezug auf die notwendigen Prozessschritte innerhalb der Konstruktionsphase durch eine Aufwandsreduktion oder -vermeidung in Konzeption und Entwurf aus [FIS08]. Darüber hinaus kann auch in diversen anderen Teilprozessen eine erhebliche Aufwandsreduktion festgestellt werden. Die notwendigen Daten und Informationen werden dabei in der Regel von einem Vorgängerprojekt, das als Referenzprojekt dient, übernommen und entsprechend den geänderten Rahmenbedingungen angepasst.

So dient die Anforderungsanalyse zunächst der Feststellung, um welche Konstruktionsart es sich bei dem anstehenden Entwicklungsauftrag handelt. Wird dabei frühzeitig festgestellt, dass sich die Anforderungen an die Verbindung gegenüber dem Referenzprojekt nicht oder nur geringfügig geändert haben, reduziert sich der Aufwand in der weiteren Analyse der Anforderungen und in den Folgeprozessen der Entwicklungsphase. Bei Anpassungskonstruktionen kann in der Phase der Funktionsauslegung das Konzept der Verbindung aus dem Referenzprojekt übernommen werden, während die Auswahl der Verbindungselemente, die Platzierung der Verbindungspunkte sowie die Prozessparameter zu überprüfen und gegebenenfalls entsprechend den geänderten Rahmenbedingungen anzupassen sind. Falls die zu verbindenden Bauteile vollständig aus dem Referenzprojekt übernommen werden, bleibt häufig auch die Verbindung unverändert. Je nach Koordinatensystem muss unter Umständen allerdings die Lage und Orientierung



der Geometriedaten angepasst werden. Der Aufwand für die Werkzeugauswahl reduziert sich entsprechend. Auch der Beschaffungsprozess kann bei bereits vorhandenen Verbindungselementen stark reduziert werden. Es ist lediglich eine Abstimmung mit den bestehenden Lieferanten über eine Erhöhung der Abnahmemengen herbeizuführen. Die notwendigen Betriebsmittel für die spätere Fertigung sind aufgrund des Vorgängerprojektes ebenfalls bereits vorhanden oder über bekannte Lieferanten auf einfachem Wege beschaffbar. Aufgrund der bereits bestehenden Geometrien entfällt außerdem ein Teil der Dokumentationsaufwände im PDM-System. Allerdings müssen weiterhin die Strukturdaten sowie die Daten für die Visualisierung des neuen Fahrzeugprojektes durch die Konstruktionsabteilung bereitgestellt werden.

Darüber hinaus ist auch bei allen Absicherungsprozessen eine geringe Reduktion der Arbeitsaufwände gegenüber einer Neukonstruktion festzustellen, da zwar die Erstbemusterung für neue Schrauben nicht erneut durchgeführt werden muss, allerdings durch die Veränderungen am Gesamtfahrzeug erneute Tests und Freigaben notwendig werden.

*Tabelle 4: Prozessaufwand in Abhängigkeit der Konstruktionsart*

Hauptprozess	Neukonstruktion	Anpassungskonstruktion	Übernahmekonstruktion
Anforderungsanalyse	●	◐	◑
Funktionsauslegung	●	◑	◒
Neuteilbeschaffung	●	◒	◓
Dokumentation	●	◑	◑
Werkzeugauswahl	●	◑	◒
Virtuelle Absicherung	●	◐	◑
Mechanische Prüfung	●	◐	◑
Sicherstellung Baubarkeit	●	◑	◒
Betriebsmittelbeschaffung	●	◑	◑
Prozessplanung	●	◐	◑
Qualitätsabsicherung	●	◐	◑

Abschließend ist auch in der Prozessplanung eine Aufwandreduzierung zum Beispiel aufgrund bereits vorhandener Bewertungen der Fertigungszeiten möglich. Die Austaktung der gesamten Fertigung ist jedoch eine hochkomplexe Aufgabe. So können bereits kleine Veränderungen der Aufbaureihenfolge oder Fertigungszeiten anderer Module und

Baugruppen eine Neuplanung diverser angrenzender Takte bedingen, sodass diese Abhängigkeiten weiterhin einen vergleichsweise hohen Aufwand in der Prozessplanung notwendig machen.

Insgesamt hat eine Untersuchung der Aufwände in der Entwicklung von Schraubenverbindungen im Rahmen des dieser Arbeit zu Grunde liegenden Forschungsprojektes ergeben, dass eine Anpassungskonstruktion gegenüber einer Übernahmekonstruktion mehr als doppelt so hohen Aufwand erzeugt. Die Aufwände einer Neukonstruktion übersteigen die einer Übernahmekonstruktion sogar um das Vierfache. Aus diesem Grund sind die kostentreibenden Prozesse auch in Abhängigkeit der Konstruktionsart zu identifizieren und die Prozessanalyse entsprechend zu fokussieren.

### **7.1.3 Ableitung von Prozesskosten in der Entwicklungsphase**

Die obige Analyse dient der Identifizierung der für die Verbindungstechnik relevanten Haupt- und Teilprozesse in der Entwicklungsphase. Auf dieser Basis kann nun die Prognose der Prozesskosten in dieser Lebensphase erfolgen. Der Zielsetzung folgend, die Verbindungstechnikalternativen wirtschaftlich vergleichbar zu machen, sind analog zum Vorgehen in der Prozesskostenrechnung zunächst die kostentreibenden bzw. kostendifferenzierenden Merkmale innerhalb der Prozesse zu identifizieren.

Zunächst ist allerdings festzustellen, dass es sich bei den genannten Prozessen um kreative und innerhalb eines Entwicklungsprojektes nur eingeschränkt repetitive Prozesse handelt, sodass die Prozesskostenrechnung in ihrer klassischen Zielsetzung nicht eingesetzt werden würde [DAH14]. In dieser Arbeit steht jedoch nicht die Verrechnung aller in einer Kostenstelle anfallenden Kosten auf die kostentreibenden Prozesse im Vordergrund (Vollkostenrechnung), sondern vielmehr die für die vergleichende wirtschaftliche Bewertung von Verbindungstechnik notwendigen Teilkosten. Deshalb wird aufbauend auf dem Grundgedanken der Prozesskostenrechnung, der bereichsübergreifenden, wirtschaftlichen Bewertung von Unternehmensprozessen, ein Konzept vorgestellt, wie auch diese Art von Prozessen bewertet und in einer Prozesskostenprognose für die Verbindungstechnik genutzt werden kann. Maßgeblich dafür ist die Feststellung, dass diese Prozesse zwar in jedem einzelnen Entwicklungsprojekt nur ein oder wenige Male durchgeführt werden, allerdings über mehrere Entwicklungsprojekte hinweg vergleichbar sind. So kann durch die entwicklungsbegleitende Erhebung der Prozessaufwände eines Teilprozesses in mehreren Projekten auf die voraussichtlichen Aufwände im folgenden Projekt geschlossen werden. Durch einen Abgleich zwischen Prognose und den tatsächlich angefallenen Aufwänden kann darüber hinaus die Prognosegüte iterativ verbessert werden. Ein kritischer Faktor in diesem Zusammenhang ist jedoch die hinreichende Identifizierung frühzeitig bekannter, kostendifferenzierender Merkmale (Kostentreiber) in den erhobenen Teilprozessen. So ist beispielsweise die Konstruktionsart sowie die Unter-

scheidung zwischen rohbau- und montagerelevanter Verbindung für diverse in den Teilprozessen anfallenden Aufwände maßgeblich. Mögliche Kostentreiber können Tabelle 5 entnommen werden.

*Tabelle 5: Kostentreiber in der Entwicklungsphase*

<b>Hauptprozess</b>	<b>Kostentreiber</b>
Anforderungsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderungsumfang gegenüber Referenzprojekt / Konstruktionsart</li> <li>- Anzahl der zu verbindenden Module</li> <li>- Komplexität von Geometrie und Bauraum</li> </ul>
Funktionsauslegung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik &amp; Fertigungsgewerk</li> <li>- Notwendigkeit von zusätzlichen Verbindungselementen</li> <li>- Verwendung von vorhandenen Verbindungselementen</li> <li>- Komplexität von Geometrien und Bauraum</li> <li>- Erfahrung des Konstrukteurs</li> </ul>
Neuteilbeschaffung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Notwendigkeit von zusätzlichen Verbindungselementen</li> <li>- Verwendung von vorhandenen Verbindungselementen</li> </ul>
Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik &amp; Fertigungsgewerk</li> <li>- Änderung der Struktur gegenüber Referenzprojekt</li> </ul>
Werkzeugauswahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik &amp; Fertigungsgewerk</li> <li>- Verwendung von vorhandenen Werkzeugen</li> <li>- Komplexität der Zugänglichkeit entsprechend Aufbaureihenfolge</li> </ul>
Virtuelle Absicherung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Komplexität der Geometrie und Bauraum</li> <li>- Komplexität der äußeren Krafteinwirkung</li> </ul>
Mechanische Prüfung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik</li> <li>- Anzahl der Verbindungspunkte</li> <li>- Verwendung von zusätzlichen Verbindungselementen</li> </ul>
Sicherstellung Baubarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik &amp; Fertigungsgewerk</li> <li>- Komplexität von Geometrien und Bauraum</li> <li>- Produktionsstandort</li> </ul>
Betriebsmittelbeschaffung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwendung von vorhandenen Werkzeugen</li> <li>- Verfügbarkeit von bekannten Lieferanten</li> </ul>
Prozessplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderungsumfang gegenüber Referenzprojekt / Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik &amp; Fertigungsgewerk</li> <li>- Produktionsstandort</li> <li>- Anzahl der Verbindungspunkte / Fertigungsschritte</li> </ul>
Qualitätsabsicherung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konstruktionsart</li> <li>- Verbindungstechnik &amp; Fertigungsgewerk</li> <li>- Anzahl der Verbindungspunkte / Fertigungsschritte</li> </ul>

Im nächsten Schritt ist das Ziel, die Teilprozessaufwände für die unterschiedlichen Ausprägungen der identifizierten Kostentreiber einzeln zu bewerten und mittels Aggregation die Prognose des Gesamtprozessaufwandes durchführen zu können. Dafür ist entsprechend der gewünschten Detaillierung für alle Haupt- bzw. Teilprozesse der Aufwand jeder Kombination der Merkmalsausprägungen zu bewerten. Zum einen kann der jeweilige Aufwandsbeitrag für alle auskombinierten Fälle pro Prozess einzeln ermittelt werden. Zum anderen kann alternativ der Aufwand jeder Ausprägung einzeln bewertet und durch Aggregation mit den Aufwänden der übrigen Merkmalsausprägungen gesamtheitlich bewertet werden, falls die Merkmale voneinander unabhängig sind. Aufgrund der Menge möglicher Ausprägungskombinationen pro Prozess ist dabei die zweite Berechnungsvariante zu bevorzugen.

Grundsätzlich ist bei der Bewertung der Aufwände zu beachten, dass es sich in der Entwicklungsphase um kreative Prozesse handelt. Der Prozessaufwand kann sich deshalb trotz der Identifizierung und Bewertung der Kostentreiber erheblich unterscheiden, sodass eine Abbildung dieser Unsicherheiten in der Prozessbewertung sinnvoll erscheint. Ein Verfahren zur Visualisierung ist die Szenariotechnik. So kann die Unterscheidung von best-case, worst-case und most-likely-case die Bandbreite der prognostizierten Aufwände verdeutlichen.

Für die Darstellung der Prozessaufwände muss zunächst jedoch eine Konvention über die Verwendung einer einheitlichen Einheit gefunden werden, in der die Aufwände angegeben werden. Da eine Bemessung des Aufwands in Arbeitsstunden aufgrund unterschiedlicher Stundenlöhne in Abhängigkeit der Tätigkeit und des Standortes keine ausreichende Vergleichbarkeit bietet, sollte zunächst eine Umrechnung in Geldeinheiten erfolgen. Dadurch kann auch eine direkte Vergleichbarkeit mit den nachfolgenden Prozessen und dort zum Beispiel anfallenden Investitionskosten in Betriebsmittel sichergestellt werden.

Das Vorgehen für die Ermittlung der entsprechenden Prozesskosten soll im Folgenden durch ein Fallbeispiel vertieft werden. Im Rahmen dieses Beispiels werden die realitätsnahen Aufwände im Entwicklungsprozess der Schraubtechnik in den Teilprozessen Konstruktion, Absicherung, Beratung durch die Normung und Beschaffung dargestellt und die Ableitung der Prozesskosten allgemein beschrieben. Der Betrachtungsumfang wurde zur besseren Übersichtlichkeit zunächst auf die Entwicklung reduziert und die im vorigen Kapitel identifizierten Prozesse aggregiert, sodass eine Fokussierung auf zunächst vier Teilprozesse ermöglicht wird.

Der zentrale Kostentreiber, der im Rahmen der Prozessaufnahme dieses Fallbeispiels identifiziert werden kann, ist die Konstruktionsart. Deshalb werden entsprechend Kapitel 7.1.2 die Übernahmekonstruktion, die Anpassungskonstruktion und die Neukonstruktion unterschieden. Im Rahmen der Aufwandsbewertung für jeden der identifizierten Prozesse sind daraufhin pro Konstruktionsart mehrere Entwicklungsprozesse zu begleiten,

sodass eine ausreichende Datenbasis für die Bewertung der Arbeitsaufwände zur Verfügung steht. Zur Vereinfachung der Analyse wird in diesem Fall aus der Varianz der gemessenen Aufwände der „most-likely-case“ gebildet und auf eine Szenariobetrachtung verzichtet. Es ist festzustellen, dass der Konstruktionsprozess sowie die Absicherungsprozesse einen erheblichen Anteil am Gesamtaufwand des Entwicklungsprozesses einnehmen, sodass eine detaillierte Aufwandsbewertung dieser Teilprozesse für eine Verbesserung der Aussagekraft dienlich ist. Die anteilige Verteilung der Aufwände in Abhängigkeit der Konstruktionsart dieses praxisnahen Fallbeispiels kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

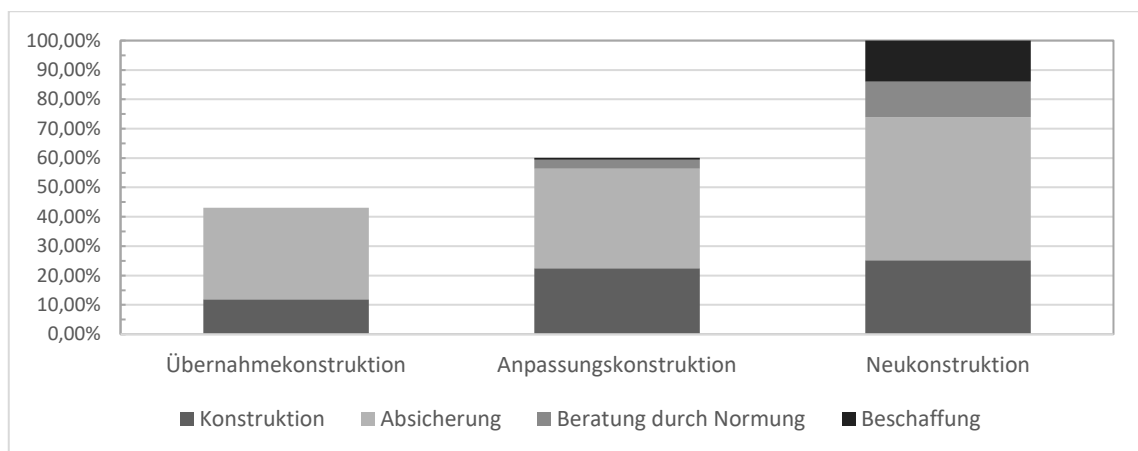


Abbildung 28: Fallbeispiel: Aufwandsverteilung in der Entwicklungsphase (eigene Darstellung)

Die Ableitung der Prozesskosten durch die Verrechnung der Aufwände mit den Lohnkosten im jeweiligen Unternehmensbereich erfolgt im nächsten Schritt. Zu diesem Zweck werden die pro Konstruktionsart in jedem Teilprozess ermittelten Aufwände mit den Lohnkosten und der durchschnittlichen Anzahl der Wiederholungen aufgrund notwendiger Änderungen multipliziert, sodass die Entwicklungskosten näherungsweise wie folgt beschrieben werden können:

$$EwK_{VP}[\text{€}] = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n t_{i,\ddot{U}} \cdot k_i \cdot n_{i,\ddot{U}}}{SL \cdot T \cdot F \cdot VP}, & \text{für Übernahmekonstruktionen} \\ \frac{\sum_{i=1}^n t_{i,A} \cdot k_i \cdot n_{i,A}}{SL \cdot T \cdot F \cdot VP}, & \text{für Anpassungskonstruktionen} \\ \frac{\sum_{i=1}^n t_{i,N} \cdot k_i \cdot n_{i,N}}{SL \cdot T \cdot F \cdot VP}, & \text{für Neukonstruktionen} \end{cases}$$

$EwK_{VP}$ : Entwicklungskosten pro Verbindungspunkt des betrachteten Moduls [€/Verbindung]

$i$ : Teilprozess

$t_{i,\ddot{U}}$ ,  $t_{i,A}$ ,  $t_{i,N}$ : Aufwand des Teilprozesses in Abhängigkeit der Konstruktionsart [Std.]

$k_i$ : Lohnkosten für Durchführung des Teilprozesses [€/Std.]

$n_{i,Ü}, n_{i,A}, n_{i,N}$ : durchschnittliche Häufigkeit von Wiederholungen des Teilprozesses in Abhängigkeit der Konstruktionsart

$SL$ : Serienlaufzeit [Jahre]

$T$ : Fertigungstage [1/Jahr]

$F$ : Fahrzeuge [1/Tag]

$VP$ : Verbindungspunkte (des Moduls) pro Fahrzeug [1/Fahrzeug]

Auf Grundlage dieses stark vereinfachten Fallbeispiels können nun mögliche Detaillierungen durch Hinzunahme weiterer Kostentreiber und Verbindungstechniken vorgenommen werden. So können die Aufwände innerhalb der einzelnen Teilprozesse von unterschiedlichen Kostentreibern abhängen. Beispielsweise kann der Aufwand innerhalb der Konstruktion entsprechend der an der Verbindung beteiligten Module und der Verbindungspunkte pro Modul weiter differenziert werden. Gleichzeitig können neben der Schraubtechnik zusätzliche Verbindungstechniken, wie zum Beispiel Schweißtechnik, Kleben oder Nieten analysiert und hinsichtlich der Aufwände bewertet werden. Dadurch kann entsprechend der relevanten Verbindungstechniken und Kostentreiber nach und nach ein Entscheidungsbaum entstehen, der in Abhängigkeit der Ausprägungen der einzelnen Merkmale die Prognose der voraussichtlichen Entwicklungskosten ermöglicht.

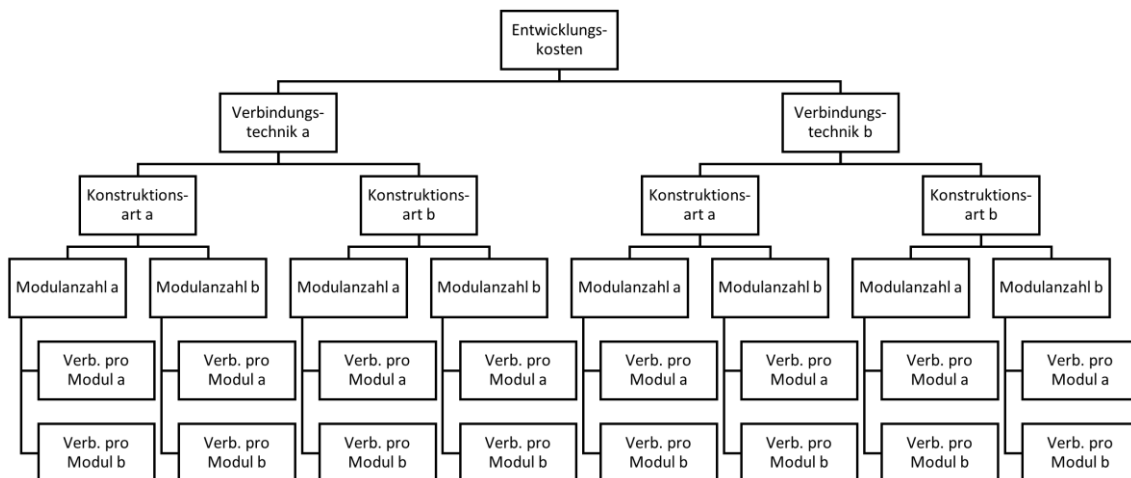


Abbildung 29: Entscheidungsbaum für die Bewertung von Entwicklungskosten

Insgesamt ist die Prognose der Kosten in der Entwicklungsphase der Verbindungstechnik aufgrund der Anzahl der Verbindungstechniken, der diversen Haupt- und Teilprozesse sowie der Menge der Kostentreiber ein komplexes Verfahren. Es bietet sich deshalb eine Fokussierung der Analyse auf die zentralen, kostendifferenzierenden Prozesse und Kostentreiber sowie die wichtigsten Verbindungstechniken an. Dabei müssen die in der Analyse verwendeten Kostentreiber frühzeitig im Prozess bewertet werden können,

sodass eine Prognose der Kosten möglich ist. Aus diesem Grund empfiehlt sich die Fokussierung auf die Verbindungstechnik sowie die Konstruktionsart. Darüber hinaus ist insbesondere bei Neukonstruktionen die Anzahl der Wiederholungen pro Teilprozess durch notwendige Änderungen relevant, da mit einem zunehmenden Anteil neuer Lösungsansätze häufig auch eine Zunahme von durch Fehler bedingten Änderungen einhergeht.

## 7.2 Prozesskostenprognose in der Fertigungsphase

Im Gegensatz zur Entwicklungsphase, die durch eine Vielzahl nur eingeschränkt repetitiver Prozesse gekennzeichnet ist, können in der Fertigungsphase wenige Kernprozesse identifiziert werden, die hochstandardisiert und mit einer großen Anzahl an Iterationen durchlaufen werden. Dadurch kann in dieser Phase das klassische Vorgehen der Prozesskostenrechnung auch für die Prognose der Prozesskosten weitgehend Anwendung finden. Im Folgenden wird für die Beschaffung, die Logistik und die Fertigung deshalb zunächst eine Prozessanalyse der jeweiligen Teilprozesse durchgeführt, die relevanten Kostentreiber identifiziert und die Prozesskostensätze berechnet, die daraufhin in der Gesamtbetrachtung lebensphasenübergreifend zusammengefasst werden können.

### 7.2.1 Analyse der Beschaffungsprozesskosten

Die Kosten der Beschaffung im Zusammenhang mit der Fertigung der Verbindungstechnik setzen sich aus unterschiedlichen Elementen zusammen. So sind zum einen Prozesskosten für Beschaffungs- und Dispositionsprozesse zu berücksichtigen. Zum anderen sind die in der Fertigung anfallenden Einzelkosten für Verbindungselemente, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Betriebsmittel ein wichtiger Kostenfaktor in der ganzheitlichen Erhebung der Verbindungstechnikkosten.

*Tabelle 6: Prozess- und Einzelkosten in der Beschaffung*

<b>Prozesskosten</b>	<b>Einzelkosten</b>
Beschaffungsprozess für Verbindungselemente	Verbindungselemente
Beschaffungsprozess für Hilfsstoffe	Hilfsstoffe
Beschaffungsprozess für Betriebsmittel	Betriebsmittel
Dispositionsprozess	

Die Grundlage für die Beschaffung von Materialien und Betriebsmitteln in der Fertigungsphase bilden die im Rahmen der Produktentwicklung abgeschlossenen Verträge mit den

entsprechenden Lieferanten (vgl. Kapitel 7.1.1). Dabei verläuft dieser Prozess im Grundsatz für Verbindungselemente, Hilfsstoffe und Betriebsmittel ähnlich. Aufbauend auf den frühzeitig geschlossenen vertraglichen Vereinbarungen erfolgen im Rahmen des Dispositionsprozesses über die Serienlaufzeit hinweg diverse Abrufe zur Lieferung der notwendigen Losgrößen. Insbesondere für die in großer Stückzahl benötigten Verbindungselemente ist die regelmäßig notwendige Disposition ein repetitiver Prozess, der einer näheren Analyse bedarf.

Grundsätzlich wird in der Materialdisposition zwischen bedarfsgesteuerter und verbrauchsgesteuerter Disposition unterschieden. Die bedarfsgesteuerte Disposition basiert auf den Materialbedarfen, die sich aus der Auflösung der Produktionsprogrammplanung auf Einzelteileebene ergeben. Die Produktionsprogrammplanung wiederum ist das Ergebnis aus den Bestellungen im Rahmen des Kundenauftragsprozesses, Bestellungen von Händlern sowie Herstelleraufträgen, die zur optimalen Auslastung der Produktionslinien verwendet werden [HOL04; KLU10]. Der Kundenauftragsprozess bildet dabei die Phasen von der Bestellannahme beim Händler, über die Auftragseinplanung, die Tagesprogrammplanung, die Fahrzeugfertigung und -distribution bis zur Übergabe des Fahrzeugs an den Kunden ab [HER05]. Aufgrund des geringen Werts pro Teil sowie der großen benötigten Anzahl werden Normteile, wie Verbindungselemente, sowie Tertiärbedarfe, wie Hilfs- und Betriebsstoffe, in der Regel verbrauchsgesteuert disponiert [KLU10], sodass eine anteilige Betrachtung der Aufwände im Kundenauftragsprozess und der Programmplanung für die wirtschaftliche Bewertung der Verbindungstechnik nicht notwendig ist. Verbrauchsgesteuerte Materialabrufe nutzen ein Pull-Prinzip, bei dem der Materialverbrauch einer Logistikstufe, zum Beispiel am Montagetak, den Nachschubprozess der jeweils vorgelagerten Logistikstufe anstößt. Im Fall der montagerelevanten Verbindungstechnik ist die dem Montagetak vorgelagerte Stufe zum Beispiel ein Supermarkt, der aus einem Zwischenlager bedient wird. Das Zwischenlager wird wiederum aus einem Zentrallager versorgt, in dem das Erreichen einer kritischen Lagermenge schließlich einen Materialabruf beim Lieferanten des Verbindungselementes auslöst. Eine typische Methode zur Umsetzung verbrauchsgesteuerter Materialabrufe ist das von Toyota in den 60er Jahren eingeführte Kanban-System [ÖNO93]. Während der in Kapitel 7.2.2 beschriebene Materialtransport aus wirtschaftlicher Sicht näher bewertet wird, ist im Hinblick auf den Beschaffungsprozess unternehmensabhängig zu klären, inwiefern der Materialabruf beim Lieferanten vollkommen automatisch erfolgt oder manuell durch die Mitarbeiter in der Disposition durchgeführt werden muss. Aufgrund der hohen Variantenanzahl und des erheblichen Verbrauchs von Verbindungselementen im Fertigungsprozess stellt die Anzahl der Dispositionsaufträge den zentralen Kostentreiber dar. Die Dispositionskosten bei manuellen Abrufen können somit anteilig berechnet werden:



$$DPK_{VE} = \frac{DPK_{ges} \cdot \frac{Dispositionsaufräge_{VT}}{Dispositionsaufräge_{ges}}}{DPM_{VE}}$$

*DPK<sub>VE</sub>: Dispositionskosten pro Verbindungselement [€/Stück]*

*DPK<sub>ges</sub>: Kosten für die Dispositionsabteilung (z.B. Kostenstelle Disposition) [€]*

*Dispositionsaufräge<sub>VT</sub>: Dispositionsaufräge für Verbindungselemente*

*Dispositionsaufräge<sub>ges</sub>: Dispositionsaufräge insgesamt*

*DPM<sub>VE</sub>: disponierte Verbindungselemente [Stück]*

Neben den Prozesskosten in der Beschaffung und Disposition von Verbindungselementen, Hilfsstoffen und Betriebsmitteln sind die durch die Abrufe entstehenden Einzelkosten für diese Materialien ein zentraler Faktor in der ganzheitlichen Betrachtung der Verbindungstechnikkosten. Dabei ist eine Differenzierung zwischen den Betriebsmitteln mit vergleichsweise hohen Einzelkosten und einer geringen Anzahl von Abrufen sowie Verbindungselementen und Hilfsstoffen mit geringen Einzelkosten und einer hohen Anzahl an Abrufen hilfreich für die zielgerichtete, frühzeitige Prognose. So unterscheiden sich auch die Kostentreiber, die auf die Höhe der Einzelkosten beider Kategorien zentralen Einfluss haben:

*Tabelle 7: Kostentreiber in der Beschaffung*

<b>Betriebsmittel</b>	<b>Verbindungselemente &amp; Hilfsstoffe</b>
Verbindungstechnik	Verbindungstechnik
Softwarekosten	Technische Merkmale / Spezifikation (Werkstoffe, Gewicht, Oberfläche, Sonderfunktionen etc.)
Peripheriekosten	Bedarfsmenge
Ersatzteilpaket & Ersatzgerät	
Garantieverlängerung	
Automatisierungsgrad	
Sicherheitsklassifizierung der Verbindung	
Produktivität & Auslastung	
Lebensdauer & Zuverlässigkeit	

Die Beschaffungskosten der für die Fertigung der betrachteten Verbindung notwendigen Betriebsmittel werden maßgeblich durch die Wahl der Verbindungstechnik geprägt. Beispielsweise unterscheiden sich die Kosten für einen einfachen Akkuschrauber zur Herstellung einer Schraubenverbindung von den Kosten für die Beschaffung einer Roboterzelle zur Herstellung von Schweißverbindungen im Rohbau. Allerdings können auch innerhalb einer Verbindungstechnik, zum Beispiel aufgrund abweichender Automatisierungsgrade oder Sicherheitsklassifizierungen, unterschiedliche Betriebsmittelkosten entstehen. Dabei sind sowohl die Kosten für das Betriebsmittel als auch aller für den späteren Betrieb notwendigen Geräte zu berücksichtigen. Dazu zählen unter anderem die Kosten für Steuerung, Energieversorgung, Shopfloor-IT, Prüftechnik, Ablagen und Aufbewahrungen. Darüber hinaus werden häufig Ersatzteilpakete und Ersatzgeräte initial beschafft, um längere Störungen der Produktion durch fehlende Reparaturmöglichkeiten zu vermeiden.

Nach der Ermittlung der Gesamtkosten für die Beschaffung der notwendigen Betriebsmittel müssen diese im nächsten Schritt in ein Verhältnis zu der Anzahl der herzustellenden Verbindungen gesetzt werden, sodass in Kapitel 7.3 schließlich eine Bestimmung der Gesamtkosten einer Verbindung ermöglicht wird. Dafür ist zunächst die Produktivität des Betriebsmittels maßgeblich. Diese gibt an, wie viele Verbindungen pro Zeiteinheit hergestellt werden können. Allerdings können viele Betriebsmittel aufgrund der Rahmenbedingungen in der Fertigung und der Abhängigkeiten zu anderen Fertigungsschritten nicht vollständig ausgelastet werden. Deshalb kann die Anzahl der gefertigten Verbindungen auch auf Grundlage der pro Tag produzierten Fahrzeuge und der Menge der von diesem Betriebsmittel gefertigten Verbindungen pro Fahrzeug ermittelt werden. Darüber hinaus kann die Verfügbarkeit und dadurch die Produktivität des Betriebsmittels theoretisch auch durch auftretende Fehler und Ausfälle reduziert werden. Allerdings wird dieses Risiko in der Automobilindustrie aufgrund des enormen Schadenpotentials infolge eines Produktionsausfalls durch das Vorhalten von Ersatzgeräten weitgehend minimiert. Der zweite Aspekt für die Verteilung der Beschaffungskosten auf die Anzahl der Verbindungen ist die Lebens- bzw. Nutzungsdauer des Betriebsmittels, nach der eine Wiederbeschaffung notwendig wird, sodass die Betriebsmittel-Beschaffungskosten pro Verbindung folgendermaßen berechnet werden können:

$$BK_{B,VP} = \frac{\sum_{i=1}^n EK_i}{ND \cdot T \cdot F \cdot VP}$$

*BK<sub>B,VP</sub>: Beschaffungskosten für Betriebsmittel pro Verbindungspunkt [€/Verbindung]*

*EK<sub>i</sub>: Einzelkosten für Betriebsmittel, Peripherie-Geräte und Softwarelizenzen*

*ND: Nutzungsdauer [Jahre]*

*T: Fertigungstage [1/Jahr]*

*F: Fahrzeuge [1/Tag]*

*VP: (mit dem Betriebsmittel gefertigte) Verbindungspunkte pro Fahrzeug [1/Fahrzeug]*

So ergeben sich zum Beispiel bei einem Betriebsmittel mit Gesamtbeschaffungskosten von 25.000€, einer Lebensdauer von acht Jahren mit 250 Arbeitstagen pro Jahr, 500 gefertigten Fahrzeugen pro Tag und zwei durch das Betriebsmittel gefertigte Verbindungen pro Fahrzeug Kosten von 1,25 Cent pro Verbindung.

Hinsichtlich der frühzeitigen Prognose dieser Kosten ist festzustellen, dass Eingangsparmeter wie die Menge der gefertigten Fahrzeuge pro Tag und die Anzahl der Verbindungen eines Moduls bereits früh im Produktentstehungsprozess festgelegt werden und somit für die Kalkulation entsprechend verwendet werden können. Die Summe der Beschaffungskosten für die Betriebsmittel und Peripheriegeräte hingegen bedarf einer Abschätzung. Dafür bietet sich der Aufbau einer Datenbank über die Höhe der Kosten in laufenden und vergangenen Projekten an, die typische Kosten zum Beispiel in Abhängigkeit der gewählten Verbindungstechnik, der Sicherheitsklassifizierung und des Automatisierungsgrades beinhaltet. Auf diese Weise können die voraussichtlichen Beschaffungskosten für die Betriebsmittel durch Angabe bereits frühzeitig bekannter Kennzahlen sinnvoll abgeschätzt werden.

Zusätzlich zu den Beschaffungskosten für Betriebsmittelkosten entstehen in der Fertigungsphase außerdem Kosten für die Beschaffung der notwendigen Verbindungselemente und Hilfsstoffe. Insbesondere für Verbindungstechniken wie die Schraubtechnik, die teilweise mehrere zusätzliche Elemente zur Herstellung der Verbindung benötigen (Schraube, Mutter, Unterlegscheibe), ist die Prognose dieses Kostenfaktors für die Güte des Gesamtergebnisses maßgeblich. Aufgrund der hohen Wiederverwendungsquote von Normteilen besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die in der Konstruktion festgelegten Verbindungselemente bzw. notwendigen Hilfsstoffe bereits in Vorgängerprojekten verwendet werden und dadurch bereits etablierte Lieferanten mit bestehenden Verträgen existieren. Somit kann auf einfache Art und Weise eine genaue Prognose der in der Fertigungsphase anfallenden Beschaffungskosten durchgeführt werden. Eine größere Herausforderung stellt die Prognose der Beschaffungskosten dar, falls eine Neuteilbeschaffung notwendig wird. In diesem Fall bietet sich ein Verfahren zur Nutzung von Analogien zu bereits existierenden Verbindungselementen mit vergleichbaren Merkmalen an. Eine Automatisierung dieser Bewertung kann zum Beispiel durch eine multivariate Regressionsanalyse der Kosteneinflüsse von Merkmalen bestehender Verbindungselemente erfolgen. Diese Methodik eignet sich insbesondere für Kostenprognosen bei einer großen Grundgesamtheit bewertbarer Bauteile. Eine Alternative für eine geringe Anzahl von ähnlichen Vergleichsprodukten bietet die vereinfachte Ermittlung von Material- und Herstellkosten nach VDI 2225 Blatt 1 [VDI97b].

Falls eine ausreichende Menge von Bauteilen für die Analyse vorhanden ist, sind zunächst mögliche Merkmale mit Einfluss auf die Höhe der Beschaffungskosten zu identifizieren. Neben der Bedarfsmenge, die aufgrund entstehender Skaleneffekte einen großen Einfluss auf die Höhe von Produktionskosten hat, sind auch technische Merkmale in der Analyse zu berücksichtigen. Die Kostenauswirkung der technischen Merkmale kann sowohl lineare Abhängigkeiten aufweisen als auch eine Konstante darstellen. So ist der Kostenanteil des Werkstoffs linear abhängig vom Gewicht des Bauteils, während eine Sonderfunktion, wie die Fädelspitze einer Schraube, einen zusätzlichen Produktionsschritt erfordert und dadurch einen konstanten Einfluss auf die Kosten besitzt. Mögliche Merkmale für eine multivariate Regressionsanalyse und deren mathematische Zusammenhänge und Abhängigkeiten können Tabelle 8 entnommen werden.

*Tabelle 8: Merkmale einer multivariaten Analyse der Beschaffungskosten von Verbindungselementen*

<b>Merkm</b>	<b>Zusammenhang</b>	<b>Abhängigkeit</b>
Bedarfsmenge	exponentiell	-
Werkstoff	Linear	Gewicht
Oberfläche	Linear	Gewicht / Volumen
Art des Verbindungselements	Konstante	-
Sonderfunktion	Konstante	-

Das Ergebnis einer solchen Analyse ist eine Berechnungsformel mit entsprechenden Regressionskoeffizienten für die einzelnen Merkmale. In diese Formel können die Merkmalsausprägungen für das neue Verbindungselement eingesetzt werden, um näherungsweise die zu erwartenden Beschaffungskosten ermitteln zu können. Die Regressionsfunktion kann in Abhängigkeit der betrachteten Kosteneinflussfaktoren und deren Abhängigkeiten beispielsweise wie folgt lauten:

$$BK_{VE} = a_1 \cdot B_{VE}^{a_2} + a_{3,Wx} \cdot m_{VE} + a_{4,ox} \cdot m_{VE} + a_{5,Kx} + a_{6,Sx}$$

$BK_{VE}$ : Beschaffungskosten des Verbindungselementes

$B_{VE}$ : Beschaffungsmenge bzw. Bedarf des Verbindungselementes

$m_{VE}$ : Masse des Verbindungselementes

$a_1$ : Regressionskoeffizient (Vorfaktor) des Bedarfs

$a_2$ : Regressionskoeffizient (Exponent) des Bedarfs

$a_{3,Wx}$ : Regressionskoeffizient des verwendeten Werkstoffs

$a_{4,Ox}$ : Regressionskoeffizient der verwendeten Oberfläche

$a_{5,Kx}$ : Regressionskoeffizient der Art des Verbindungselementes

$a_{6,Sx}$ : Regressionskoeffizient der Sonderfunktion des Verbindungselementes

Eine weitere Anwendung dieser Analyse stellt die Plausibilisierung der Beschaffungskosten bereits vorhandener Verbindungselemente dar. So können durch die Berechnung der zu erwartenden Kosten vorhandener Bauteile diejenigen Verbindungselemente identifiziert werden, die unter Berücksichtigung ihres Bedarfs und ihrer technischen Merkmale vergleichsweise zu hohe Beschaffungskosten aufweisen. Dadurch werden Einsparpotentiale transparent und Nachverhandlungen mit den Lieferanten inhaltlich begründbar.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Einzelkosten für die notwendigen Betriebsmittel und Verbindungselemente die wesentlichen Kostentreiber in der Beschaffung darstellen. Dabei kann grundsätzlich zwischen den im Rohbau und der Montage genutzten Verbindungstechniken unterschieden werden. Die im Rohbau anfallenden Beschaffungskosten werden vor allem durch die Investitionen in hochautomatisierte Fertigungszellen, zum Beispiel für Schweißroboter, verursacht. Gleichzeitig ist der Bedarf an zusätzlichen Verbindungselementen klein. Im Gegensatz dazu zeichnen sich die montagerelevanten Verbindungstechniken, wie die Schraubtechnik, durch vergleichsweise geringe Investitionskosten in Betriebsmittel aus, während die Einzelkosten für die Beschaffung der notwendigen Verbindungselemente einen großen Anteil an den Beschaffungskosten einnehmen.

### 7.2.2 Analyse der Logistikprozesskosten

Auf Materialabruf im Rahmen des Beschaffungs- bzw. Dispositionsprozesses erfolgt zunächst die Produktion und Bereitstellung der notwendigen Bauteile am Standort des Lieferanten. Der Transport dieser Bauteile vom Lieferanten zum Verbauort an der Produktionslinie erfolgt daraufhin entsprechend dem Logistikkonzept. Dabei kann zwischen Inbound-Logistik, die den Transport zwischen dem Standort des Lieferanten und dem Produktionswerk beschreibt, und der Inhouse-Logistik, die den Transport innerhalb des Werkes umfasst, unterschieden werden (vgl. Abbildung 30). Grundsätzlich ist die Berechnung von Logistikkosten nur für diejenigen Verbindungstechniken notwendig, die für die Herstellung der Verbindung zusätzliche Verbindungselemente oder Hilfsstoffe benötigen.

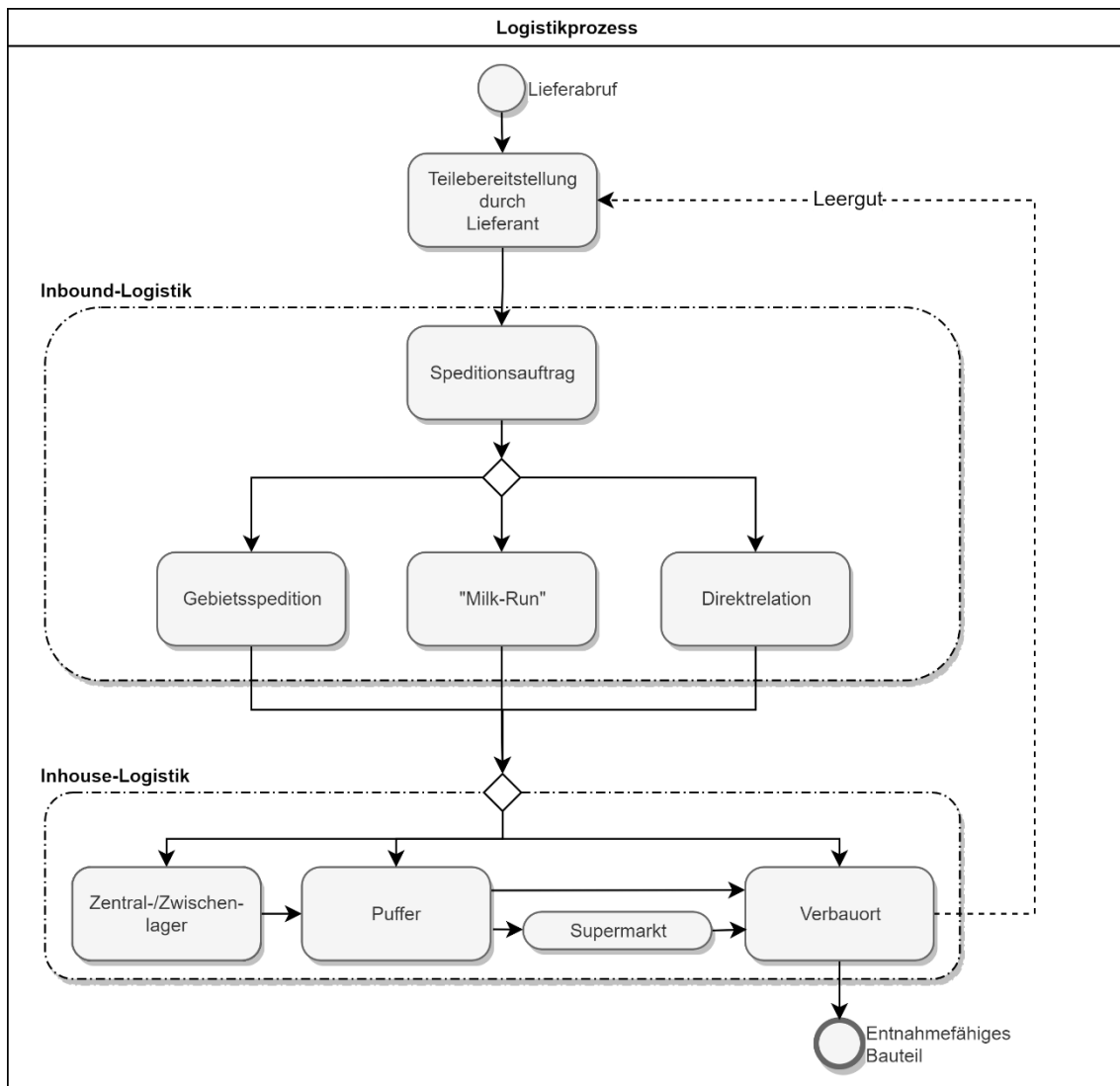


Abbildung 30: Logistikprozess

Für Transport vom Lieferantenstandort zum Werksstandort des Automobilherstellers (Inbound-Logistik) existieren unterschiedliche Konzepte. Zur Minimierung der Transportkosten und zur Verbesserung der Prozessqualität wird bei der Auswahl der Lieferanten soweit möglich auf lokale Anbieter (local sourcing) gesetzt, sodass als Verkehrsträger überwiegend die Straße verwendet wird. Nach VDA 5010 können für den Straßentransport die Gebietsspedition, der Milk-Run und die Direktrelation unterschieden werden. Die Gebietsspedition ist für den Warentransport von Stückgut, Sammelgut oder Teilladeungen in einem definierten Wirtschaftsraum zuständig und nutzt dafür mindestens einen Umschlagsterminal. Gebietsspeditionen werden bei unregelmäßigen Lieferungen, komplexen Routenbildungen sowie volatilen oder nicht kombinierbaren Transportvolumen eingesetzt. Milk-Runs hingegen werden auf definierten Transportrouten mit verschiedenen Ladestellen und konstanten Transportvolumina eingesetzt, die eine hohe Auslas-

tung der Fahrzeuge gewährleisten. Bei großen Liefermengen, die die Bildung von Komplettladungen ermöglichen, werden Direktrelationen zwischen Lieferant und Werk ohne weitere Umschlagspunkte eingesetzt [VDA08]. Auf diese Weise wird in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen immer das kostenminimale Transportkonzept verwendet.

Für die Prognose der mit dem Transport zum Werk anfallenden Kosten sind zunächst die wichtigsten Kostentreiber zu identifizieren. Diese sind insbesondere die Entfernung zwischen Lieferant und Werk und das Gewicht bzw. das Volumen der zu transportierenden Bauteile. Darüber hinaus können auch die Verpackungsart, das Transportkonzept und die Stapelbarkeit der Bauteile Auswirkungen auf die Transportkosten haben. Für eine frühzeitige Prognose der Inbound-Logistikkosten liegen jedoch nicht immer alle Detailinformationen der Logistikplanung vor, sodass in Abhängigkeit der vorliegenden Daten und mittels notwendiger Annahmen eine entsprechende Prognoseformel zu erarbeiten ist. So sind Gewicht und Volumen der Verbindungselemente in der Regel frühzeitig bekannt. Die Entfernung zwischen Werk und Lieferant kann bei bereits vorhandenen Lieferverträgen exakt ermittelt werden. Ansonsten ist zunächst eine durchschnittliche Entfernung anzunehmen, die im späteren Verlauf entsprechend präzisiert werden kann. Für die Berechnung der Transportkosten ist jeweils die doppelte Strecke zu verwenden, da auch für den Rücktransport der Leergutbehälter entsprechende Kosten anfallen. Darüber hinaus kann auf Basis bestehender Verträge ermittelt werden, wie groß die Kosten pro Transportkilometer sind. Gegebenenfalls ist für Hin- und Rückfahrt (Vollgut/Leergut) mit unterschiedlichen Kosten zu rechnen. Zur Vereinfachung wird zunächst angenommen, dass die Lieferung als Direktrelation erfolgt.

Für die Verrechnung der Transportkosten auf die einzelnen Bauteile ist im nächsten Schritt die pro LKW-Ladung maximal mögliche Transportmenge zu berechnen. Diese wird entweder durch das Volumen des LKWs oder durch das maximal zulässige Transportgewicht eingeschränkt. Für Verbindungselemente aus metallischen Werkstoffen ist dabei davon auszugehen, dass die Gewichtsgrenze zuerst erreicht wird, sodass diese im Regelfall den begrenzenden Faktor darstellt.

Die voraussichtlichen Inbound-Logistikkosten für ein Verbindungselement können somit näherungsweise berechnet werden:

$$LK_{IB,VE} = \frac{2 \cdot E \cdot TK}{\frac{m_{max1}}{m_{VE}}}$$

*LK<sub>IB,VE</sub>: Inbound-Logistikkosten pro Verbindungselement [€/Stück]*

*E: Entfernung zwischen Lieferant und Werk [km]*

*TK: durchschnittliche Transportkosten [€/km]*

*m<sub>max1</sub>: maximales Transportgewicht pro LKW [kg]*

*m<sub>VE</sub>: Masse eines Verbindungselementes [kg/Stück]*

Die Inhouse-Logistik umfasst im nächsten Schritt die Kosten für die Zwischenlagerung und Verteilung der Verbindungselemente innerhalb des Werks. Aufgrund der verbrauchsabhängigen Abrufe für Kleinteile ist dabei in einem werksnahen Zentrallager ein Puffer von mehreren Tagen vorzuhalten, sodass auch Unsicherheiten im Inbound-Logistikprozess ausgeglichen werden können. Aus diesem Grund setzen sich die Inhouse-Logistikkosten zum einen aus den anfallenden Lagerkosten und zum anderen aus den Kosten für den in der Regel mehrstufigen Transport zwischen Zentrallager und Verbauort zusammen. Die Lagerung und der Transport von Verbindungselementen und anderen Kleinteilen findet dabei in der Regel in Standardbehältern statt, die vergleichbar mit den Restriktionen für LKW gewichts- oder volumenabhängig jeweils eine definierte Menge an Bauteilen enthalten.

Der Betrieb eines Zentrallagers wird in Abhängigkeit des Herstellers eigenständig durchgeführt oder an einen Dienstleister vergeben. Je nach Umsetzung können die Lagerkosten pro Tag pro Behälter entweder über interne Verrechnungssätze oder auf Grundlage der vertraglichen Vereinbarungen mit dem Dienstleister frühzeitig abgeschätzt werden.

Ein zentraler Kostentreiber für die Prognose der internen Transportkosten sind die Arbeitskosten für die manuellen Tätigkeiten in den jeweiligen Logistikstufen. Es bietet sich an pro Logistikstufe einen Teilprozess zu definieren, für den sowohl die durchschnittliche Arbeitsdauer pro Behälter als auch die Lohnkosten ermittelt werden. Die konkreten Tätigkeiten und die Ausgestaltung der Logistikstufen hängen vom unternehmens- und standortspezifischen Inhouse-Logistikkonzept ab. Beispielsweise findet zunächst eine Kommissionierung im Zentrallager für eine bestimmte Montagelinie statt (Stufe 1). Nach dem Transport vom Lager zur Linie wird das Transportmittel entladen, eine Wareneingangskontrolle durchgeführt und die Behälter mittels Hubwagen auf eine Bereitstellfläche innerhalb der Montagehalle verbracht (Stufe 2). Entsprechend der verbrauchsgesteuerten Bedarfe an den einzelnen Montagetakten werden dort die benötigten Behälter einmal pro Stunde entnommen und über vorgegebene Routen an die Montagetakte geliefert (Stufe 3).

Da das produzierende Werk für ein neues Fahrzeugmodell in der Regel bereits frühzeitig festgelegt wird, ist es für die Prognose der Inhouse-Logistikkosten somit hinreichend pro Werk bzw. Montagelinie diesen Prozess zu erfassen und daraufhin als Referenz für zukünftige Fahrzeugprojekte zu verwenden.

Insgesamt können die Inhouse-Logistikkosten pro Verbindungselement demnach folgendermaßen prognostiziert werden:

$$LK_{IH,VE} = \frac{LaK \cdot D + \sum_{i=1}^n t_i \cdot k_i}{\frac{m_{max2}}{m_{VE}}}$$



$LK_{IH}$ : Inhouse-Logistikkosten pro Verbindungselement [€/Stück]

$LaK$ : Lagerkosten pro Standardbehälter pro Tag [€/(Behälter\*Tag)]

$D$ : durchschnittliche Lagerdauer pro Behälter [Tage]

$i$ : Logistikstufe

$t_i$ : Arbeitszeit pro Behälter innerhalb der Logistikstufe [Std./Behälter]

$k_i$ : Lohnkosten innerhalb der Logistikstufe [€/Std.]

$m_{max2}$ : maximales Gewicht pro Behälter [kg/Behälter]

$m_{VE}$ : Masse eines Verbindungselementes [kg/Stück]

In Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Informationen können weitere Kostenelemente in die Prognose der Inhouse-Logistikkosten aufgenommen werden. Dazu zählen zum Beispiel anfallende Behältermieten oder anteilige Investitionskosten für die Logistikinfrastruktur und den Fuhrpark. Da die Logistikkosten im Vergleich zu den anderen betrachteten Kostenfaktoren erfahrungsgemäß einen eher kleinen Anteil an den Gesamtkosten verursachen, wird die Prognosequalität durch die Vernachlässigung dieser Einflussgrößen nur unerheblich verringert.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sowohl die Inbound- als auch die Inhouse-Logistikkosten bereits frühzeitig auf Grundlage bekannter Daten und begründeter Annahmen prognostizierbar sind. Die zentralen Kostentreiber für die Höhe der Logistikkosten sind dabei das Logistikkonzept, die Entfernung zwischen Lieferant und Werk, das Gewicht der Bauteile sowie die Lohnkosten.

### 7.2.3 Analyse der Fertigungsprozesskosten

Nachdem die Bestellung eines Kunden im Rahmen des Kundenauftragsprozesses in die operative Fahrzeugprogrammplanung aufgenommen worden ist und die für die Herstellung aller Verbindungen notwendigen Verbindungselemente und Hilfsstoffe bei den Lieferanten abgerufen, durch die zuständigen Spediteure angeliefert und bis zum Verbauort transportiert worden sind, kann die Fertigung des Fahrzeugs erfolgen.

Die Fertigung von Automobilen ist in die vier Gewerke Presswerk, Karosseriebau, Lackiererei und Montage aufgeteilt. Im Presswerk werden zunächst Stahl- und Aluminiumbleche geformt, die im Karosseriebau miteinander verbunden werden. In der Lackiererei werden daraufhin unterschiedliche Lack- und Schutzschichten aufgetragen. In der abschließenden Montage werden die häufig durch andere Werke oder Lieferanten hergestellten Einbauteile mit der Karosserie verbunden. Dabei kann zwischen Motormontage, Vormontagen und Fahrzeugendmontage unterschieden werden. Über die eingesetzten Fertigungsverfahren können die Gewerke hinsichtlich der Relevanz für die Prognose der Verbindungstechnikkosten voneinander abgegrenzt werden. Während im Presswerk die Umformtechnik im Vordergrund steht, kommen in der Lackiererei Beschichtungsverfah-

ren zum Einsatz. Das Fügen von Bauteilen hingegen wird fast ausschließlich im Karosseriebau und in der Montage durchgeführt, sodass diese Gewerke im Fokus der weiteren Betrachtung stehen (vgl. Kapitel 3.3).

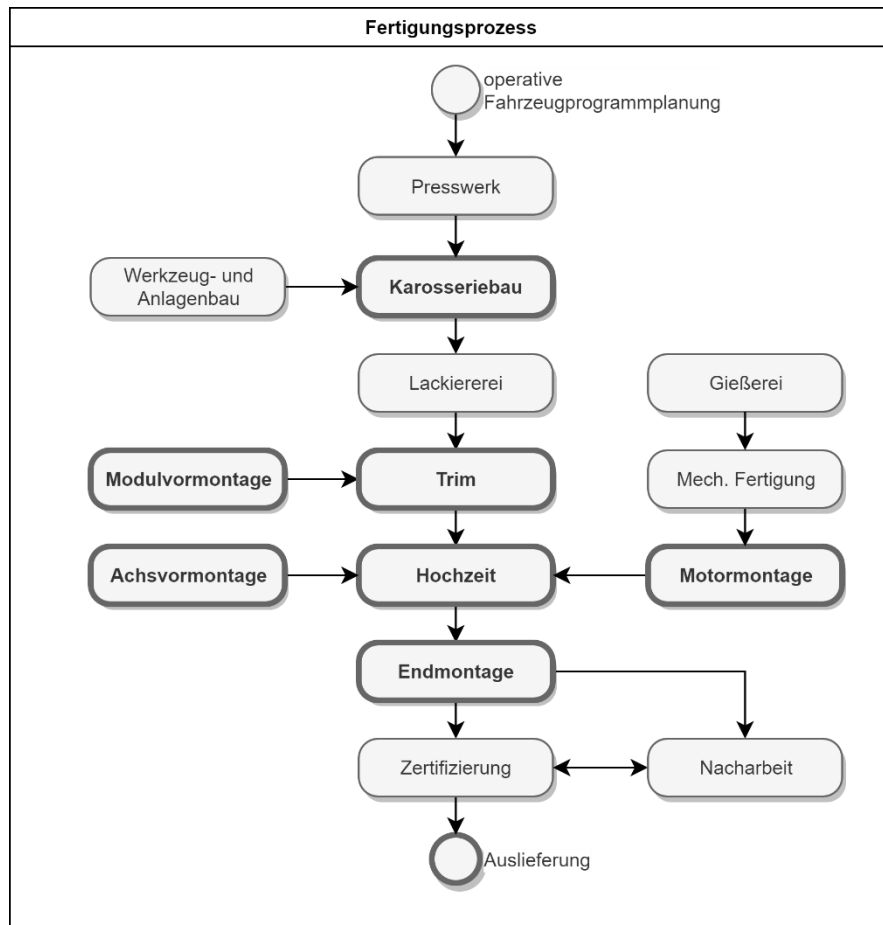


Abbildung 31: Relevanz der Verbindungstechnik (fett) im Fertigungsprozess (in Anlehnung an [KRO09])

Die im Karosseriebau eingesetzten Verbindungstechniken sind unterschiedliche Schweißverfahren, wie das Widerstandspunktschweißen, das Laserschweißen und das Schutzgasschweißen, sowie Klebeverfahren und Stanznieten. Dabei weist der Karosseriebau einen Automatisierungsgrad von über 90 % auf [KLU10], sodass Personal hauptsächlich in den Bereichen Instandhaltung und Logistik eingesetzt wird [SCH13].

Die Montage hingegen weist einen deutlich geringeren Automatisierungsgrad auf. Ursächlich dafür sind vor allem schwer zu automatisierende Verbindungstechniken, wie die Schraubtechnik, und die hohe Komplexität der Fertigungsschritte aufgrund der Variantenvielfalt der Einbauteile. Nach Klug existieren in Abhängigkeit von Fahrzeugkonzept und Fertigungstiefe 3.000-6.000 Montagepositionen, an denen bis zu 20.000 Teile und Module verbaut werden [KLU10].

Die unterschiedlichen Rahmenbedingungen in Karosseriebau und Montage hinsichtlich der eingesetzten Verbindungstechniken, des Automatisierungsgrades und des Personaleinsatzes führen in den Gewerken auch zu der Identifizierung unterschiedlicher Kostentreiber (vgl. Tabelle 9). Dabei ist zu beachten, dass in der Montage auch Energiekosten anfallen und für die detaillierte Kostenbetrachtung im Karosseriebau Personalkosten mit direktem Bezug zur Fertigung, zum Beispiel in der Produktionsüberwachung, relevant sind. Im Rahmen der frühzeitigen Kostenprognose stehen allerdings die für das jeweilige Gewerk prägenden Kostentreiber im Fokus.

*Tabelle 9: Kostentreiber in der Fertigung*

<b>Karosseriebau</b>	<b>Montage</b>
Energieverbrauch	Fertigungszeiten
Energiekosten	Lohnkosten
Installation & Konfiguration	Installation & Konfiguration
Wartung & Instandsetzung	Wartung & Instandsetzung
Nacharbeit	Nacharbeit

Die Personalkosten stellen in der Montage den wichtigsten Kostentreiber dar. Die Bewertung der anteilig durch die Verbindungstechnik verursachten Personalkosten kann auf standardisierte Weise durch Nutzung des „Methods-Time Measurement“-Verfahrens (MTM) erfolgen. Das MTM-Verfahren ermöglicht die exakte Zeitbestimmung von manuellen Tätigkeiten, sodass die Fertigungszeiten für definierte Fügevorgänge frühzeitig berechnet werden können. Mit sogenannten Prozessbausteinen, die einzelne Elemente des Bewegungsablaufs repräsentieren, können Produktionsvorgänge standardisiert und reproduzierbar modelliert werden [BRI10]. Dabei können auch verschiedene Rahmenbedingungen eines Montagetaktes in die Berechnung integriert werden. Dazu zählen zum Beispiel der Verbau mehrerer, identischer oder unterschiedlicher Verbindungselemente sowie ein möglicher Werkzeugwechsel.

Die mittels MTM-Verfahren kalkulierten Fertigungszeiten sind mit den Lohnkosten am Produktionsstandort zu verrechnen, sodass die verbindungstechnikspezifischen Personalkosten ermittelt werden können:

$$FLK_{VP} = \sum_{i=1}^n FZ_i \cdot k$$

$FLK_{VP}$ : Fertigungslohnkosten (Personalkosten) für die Fertigung einer Verbindung [€]

$i$ : Prozessbaustein

$FZ_i$ : Fertigungszeit von Prozessbaustein  $i$  [Std.]

$k$ : Lohnkostensatz in der Fertigung [€/Std.]

Im Gegensatz zur Montage wird der hohe Automatisierungsgrad der eingesetzten Füge-technik im Karosseriebau insbesondere durch die Nutzung von Industrierobotern erreicht. Neben den bereits betrachteten Beschaffungskosten sind die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Höhe der Folgekosten die Energiekosten mit einem Anteil von 23% an den Lebenszykluskosten sowie die Wartungs- und Instandhaltungskosten mit einem Anteil von 9% [MUL18]. Die Prognose der einzelnen Kostenelemente kann dabei mit unterschiedlichen Methoden erfolgen. In Analogie zum MTM-Verfahren kann beispielsweise das „Methods-Energy Measurement“-Verfahren (MEM) Anwendung finden, das durch die Definition von Referenzzyklen und die Modularisierung der Energieverbräuche eine frühzeitige Prognose des Energieverbrauchs für unterschiedliche Verbindungstechniken ermöglicht [BOR16]. Ein anderer Ansatz ist die Ermittlung eines Prozesskostensatzes im Sinne der klassischen Prozesskostenrechnung. Dabei wird der Energieverbrauch des Gesamtgewerks anteilig auf die Betriebsmittel einer bestimmten Verbindungstechnik verteilt:

$$EnK_{VP} = \frac{EnV_{Gewerk} \cdot k}{\left( \frac{Bem_{i_{VT}}}{Bem_{i_{Gewerk}}} \right) VP_{VT}}$$

$ENK_{VT}$ : Energiekosten eines Verbindungspunktes einer spezifischen Technologie [€/Verbindung)

$ENV_{Gewerk}$ : Energieverbrauch im Gewerk [kWh]

$k$ : Energiekosten pro kWh [€/kWh]

$Bem_{i_{VT}}$ : Anzahl der Betriebsmittel der Verbindungstechnik [Stück]

$Bem_{i_{Gewerk}}$ : Anzahl der Betriebsmittel im Gewerk [Stück]

$VP_{VT}$ : Anzahl der Verbindungspunkte der Verbindungstechnik [Stück]

Im Karosseriebau und der Montage gibt es neben der unterschiedlichen Priorisierung von Energiekosten und Personalkosten auch Kostenelemente, die in beiden Gewerken anfallen, sodass die Prognose der Kosten für diese Prozesse mit den gleichen Formeln durchgeführt werden kann. Der Anteil an den Gesamtkosten kann in Abhängigkeit des

Gewerks allerdings variieren, sodass eine verbindungstechnikspezifische Analyse notwendig ist. Diese Kostenelemente umfassen Installation, Konfiguration, Wartung, Instandsetzung der notwendigen Betriebsmittel sowie mögliche Nacharbeiten.

Die Kostenprognose für die auf die Beschaffung der Betriebsmittel folgende Installation und Konfiguration wird durch eine unternehmens- und verbindungstechnikspezifische Analyse der dafür notwendigen Teilprozesse erreicht. Dafür sind pro Verbindungstechnik alle üblichen Prozessschritte zwischen Anlieferung und Beginn der Serienfertigung strukturiert zu erfassen. Mögliche Teilprozesse sind dabei die Versorgung, die Konfiguration des Human-Machine-Interfaces, die Parametrisierung, die Konfiguration des Prüfdatensystems, notwendige Prüfungen und Freigaben sowie Schulungen des Personals. Für diese Teilprozesse sind jeweils die notwendige Arbeitszeit und die anfallenden Stundenlöhne zu erheben, sodass die Gesamtkosten im nächsten Schritt auf die über die Nutzungsdauer hergestellte Anzahl der Verbindungen verrechnet werden können:

$$IKK_{VP} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot k_i}{ND \cdot T \cdot F \cdot VP}$$

*IKK<sub>VP</sub>: Installations- und Konfigurationskosten pro Verbindungspunkt [€]*

*i: Teilprozess*

*t<sub>i</sub>: Arbeitszeit für Durchführung des Teilprozesses [Std.]*

*k<sub>i</sub>: Lohnkosten des für den Teilprozess notwendigen Personals [€/Std.]*

*ND: Nutzungsdauer [Jahre]*

*T: Fertigungstage [1/Jahr]*

*F: Fahrzeuge [1/Tag]*

*VP: Verbindungspunkte pro Fahrzeug [1/Fahrzeug]*

Die Wartungs- und Instandsetzungskosten ergeben sich aus geplanten und ungeplanten Tätigkeiten. So können geplante Wartungen, Inspektionen und Instandsetzungen hinsichtlich der notwendigen Prozessschritte, der Dauer der einzelnen Prozessschritte, der anfallenden Lohnkosten und des Intervalls für Wiederholungen strukturiert erfasst und die Ergebnisse für die Prognose zukünftiger Projekte verwendet werden. Ungeplante Instandsetzungen, die entweder durch eine interne Abteilung durchgeführt oder extern vergeben werden, bedürfen hingegen einer verbindungstechnikabhängigen Untersuchung in der zuständigen Abteilung. Das Ergebnis dieser Untersuchung sollte die Angabe eines durchschnittlichen Intervalls für ungeplante Instandsetzungen mit den dabei durchschnittlich anfallenden Reparaturkosten sein, sodass auch dieser Kostenfaktor be-

rücksichtigt werden kann. Die Verteilung der Wartungs- und Instandsetzungskosten erfolgt wiederum über die in der Nutzungsdauer gefertigten Verbindungspunkte des jeweiligen Betriebsmittels:

$$WIK_{VP} = \frac{GWIK + UWIK}{VP_{ges}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot k_i \cdot \frac{I_i}{ND} + \frac{\emptyset I_{UWIK} \cdot \emptyset k_{UWIK}}{ND}}{ND \cdot T \cdot F \cdot VP}$$

*WIK<sub>VP</sub>: Wartungs- und Instandhaltungskosten pro Verbindungspunkt [€]*

*GWIK: geplante Wartungs- und Instandhaltungskosten [€]*

*UWIK: ungeplante Wartungs- und Instandhaltungskosten [€]*

*VP<sub>ges</sub>: In der Nutzungsdauer gefertigte Verbindungspunkte*

*i: Teilprozess*

*t<sub>i</sub>: Arbeitszeit für Durchführung des Teilprozesses [Std.]*

*k<sub>i</sub>: Lohnkosten des für den Teilprozess notwendigen Personals [€/Std.]*

*I<sub>i</sub>: Intervall für die Durchführung des Teilprozesses [1/Jahr]*

*∅I<sub>UWIK</sub>: durchs. Intervall für ungeplante Instandsetzungen [Instandsetzungen/Jahr]*

*∅k<sub>UWIK</sub>: durchs. Kosten pro ungeplanter Instandsetzung [€/Instandsetzung]*

*ND: Nutzungsdauer [Jahre]*

*T: Fertigungstage [1/Jahr]*

*F: Fahrzeuge [1/Tag]*

*VP: Verbindungspunkte pro Fahrzeug [1/Fahrzeug]*

In Abhängigkeit der Prozesssicherheit der jeweiligen Verbindungstechnik können auch die Nacharbeitskosten in der frühzeitigen Kostenprognose Berücksichtigung finden. In Analogie zu den Kosten der ungeplanten Instandsetzung bietet sich auch in diesem Fall eine spezifische Untersuchung an. Dabei sind die Nacharbeitskosten, die Gesamtanzahl der Nacharbeiten sowie die Anzahl der Nacharbeiten pro Verbindungstechnik zu analysieren. Darauf aufbauend können die Kosten für die Prozesskostenprognose ermittelt werden:

$$NK_{VP} = \frac{\frac{N_{VT}}{N_{ges}} \cdot NK_{ges}}{T \cdot F \cdot VP}$$

*NK<sub>VP</sub>: Nacharbeitskosten pro Verbindungspunkt [€]*

*N<sub>VT</sub>: Anzahl Nacharbeiten für eine spezifische Verbindungstechnik pro Jahr [1/Jahr]*

*N<sub>ges</sub>: Gesamtanzahl der Nacharbeiten pro Jahr [1/Jahr]*

$NK_{ges}$ : Nacharbeitskosten pro Jahr [1/Jahr]

$T$ : Fertigungstage [1/Jahr]

$F$ : Fahrzeuge [1/Tag]

$VP$ : Verbindungspunkte pro Fahrzeug [1/Fahrzeug]

Insgesamt ist festzustellen, dass auch die im Fertigungsprozess anfallenden Verbindungskosten bereits frühzeitig im Produktentstehungsprozess prognostizierbar sind. Die Grundlage für eine solche Prognose bilden standardisierte Verfahren zum Beispiel zur Ermittlung von Fertigungszeiten und Energieverbräuchen sowie Untersuchungen und Datenauswertungen bestehender Lieferverträge, Logistikprozesse und Fertigungen mit dem Ziel relevante Kennzahlen zur Berechnung der relevanten Teilprozesskosten abzuleiten.

### 7.3 Ganzheitliches Modell der frühzeitigen Prozesskostenprognose

In den letzten Kapiteln wurde die Prozesskostenberechnung in den für die Verbindungstechnik relevanten Teilprozessen der Entwicklungsphase und der Fertigungsphase vorgestellt. Diese Teilergebnisse werden im Folgenden zu einem ganzheitlichen Konzept zusammengeführt und die Relevanz der einzelnen Kostenelemente in Abhängigkeit der Verbindungstechnik bewertet. Darüber hinaus werden die Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung des Konzeptes aufgezeigt. Abschließend wird auf die Implementierung der Ergebnisse in die Produktentwicklung eingegangen.

Grundsätzlich lassen sich die Prozesskosten einer Verbindung durch die Aggregation der oben beschriebenen Teilprozesskosten berechnen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hergeleiteten Berechnungsvorschriften teilweise auf einen Verbindungspunkt referenzieren und teilweise pro Verbindungselement angegeben sind. In Abhängigkeit der Verbindungstechnik und der Konzeption der Verbindung in der Produktentwicklung benötigt die Herstellung eines Verbindungspunktes entweder kein zusätzliches Verbindungselement, exakt ein Verbindungselement oder auch mehrere Verbindungselemente. Deshalb sind die auf ein Verbindungselement bezogenen Teilprozesskosten entsprechend mit der Anzahl der benötigten Verbindungselemente zu verrechnen:

$$PK_{VP} = EwK_{VP} + n_{VE} \cdot DPK_{VE} + BK_{B,VP} + n_{VE} \cdot BK_{VE} + n_{VE} \cdot LK_{IB,VE} + n_{VE} \cdot LK_{IH,VE} \\ + FLK_{VP} + EnK_{VP} + IKK_{VP} + WIK_{VP} + NK_{VP}$$

In Abhängigkeit der eingesetzten Verbindungstechnik und der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen können die Anteile der Teilprozesskosten an den Gesamtprozesskosten erheblich variieren. Darüber hinaus ist festzustellen, dass wiederholt anfallende Prozesse (z.B. Fertigungen in der Montage), häufig einen größeren Kostenanteil pro Verbindung verursachen als einmalig anfallende Fixkosten (z.B. Entwicklungskosten), die auf die Gesamtzahl der hergestellten Verbindungen verteilt werden. Allerdings existieren Ausnahmen. So sind die Beschaffungskosten für Betriebsmittel im Karosseriebau aufgrund der hohen Investitionssumme in der Regel von Bedeutung, während die

pro Verbindungselement anfallenden Logistikkosten aufgrund der großen Menge der gleichzeitig transportierten Bauteile bei „local sourcing“ eher nachrangig zu behandeln sind.

Zudem können die betrachteten Teilprozesskosten auch in Abhängigkeit der Verbindungstechnik priorisiert werden. Auf diese Weise kann die Analyse einzelner Kostenfaktoren je nach Bedeutung in Bezug auf die Höhe der Gesamtkosten entweder detaillierter analysiert oder aufwandsreduziert betrachtet werden. Tabelle 10 zeigt für ausgewählte Verbindungstechniken eine mögliche Priorisierung der Kostenfaktoren auf. Diese Priorisierung kann jedoch in Abhängigkeit der unternehmensspezifischen Gegebenheiten, wie zum Beispiel dem Automatisierungsgrad, variieren.

Tabelle 10: Priorisierung der Kostenfaktoren in Abh. der Verbindungstechnik

	EwK	DPK	BK <sub>B</sub>	BK <sub>VE</sub>	LK <sub>IB</sub> / LK <sub>IH</sub>	FLK	EnK	IKK/ WIK	NK
<b>Schweißverfahren</b>	◐		●				●	●	◐
<b>Nietverfahren</b>	◐	◐	●	●	◐	◐	◐	◐	◐
<b>Schraubverfahren</b>	●	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	●
<b>Klebsverfahren</b>	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
<b>Klemmverfahren</b>	◐					●			●

EwK: Entwicklungskosten; DPK: Dispositionskosten; BKB: Beschaffungskosten Betriebsmittel; BKVE: Beschaffungskosten Verbindungselemente und Hilfsstoffe; LKIB/LKIH: Inbound- und Inhouse-Logistikkosten; FLK: Fertigungslohnkosten; EnK: Energiekosten; IKK/WIK: Kosten für Installation, Konfiguration, Wartung und Instandsetzung; NK: Nacharbeitskosten

Die erfolgreiche Umsetzung der Prozesskostenprognose bedarf der Sicherstellung geeigneter Rahmenbedingungen im betreffenden Unternehmen. Diese umfassen sowohl kulturelle als auch systemseitige Aspekte.

Die vorigen Teilkapitel haben neben dem inhaltlichen Vorgehen bei der Umsetzung der Prozesskostenprognose auch den erheblichen Aufwand für die Erfassung der notwendigen Daten und Kennzahlen aufgezeigt. Dieser zusätzliche Aufwand in nachgelagerten Abteilungen ermöglicht es den Konstrukteuren bei der Entwicklung von Verbindungen kostenminimale Entscheidungen treffen zu können. Nur durch eine zielgerichtete, standardisierte und frühzeitige Bereitstellung von Kosteninformationen können Einsparungen in der gesamten Wertschöpfungskette ermöglicht werden. In der Unternehmenskultur ist deshalb ein bereichsübergreifendes Verständnis für das Thema „Frontloading“ im Sinne einer frühzeitigen Entscheidungsunterstützung durch die Bereitstellung von Informationen aus nachfolgenden Produktentstehungsphasen zu etablieren, sodass Verschwendung in späten Phasen reduziert oder vermieden werden kann.

Auf dieser Grundlage können daraufhin die Prozesse analysiert und die Daten für nicht bereits vorhandene Kennzahlen erfasst und ausgewertet werden. In Tabelle 11 sind die



für die Berechnung der Teilprozesskosten notwendigen Kennzahlen und deren Informationsquellen im Unternehmen zusammengefasst:

*Tabelle 11: Übersicht der notwendigen Kennzahlen und deren Informationsquellen*

<b>Kennzahl</b>	<b>Informationsquelle</b>	<b>Prozess(e)</b>
Entwicklungsteilprozessaufwände	Prozessanalyse / Controlling	Entwicklung
Iterationen von Entwicklungsteilprozessen	Prozessanalyse	Entwicklung
Serienlaufzeit	Projektdefinition	Entwicklung
Lohnkostensätze	Controlling	Entwicklung, Beschaffung, Logistik, Fertigung
Fahrzeugproduktion pro Tag	Projektdefinition	Beschaffung, Logistik, Fertigung
Fertigungstage	Fertigungsvorbereitung	Beschaffung, Logistik, Fertigung
Verbindungspunkte (pro Fzg. / pro Verbindungstechnik / pro Modul)	Konstruktion	Beschaffung, Fertigung
Kostenstelle Disposition	Controlling	Beschaffung
Dispositionsaufträge (gesamt / verbindungstechnikspezifisch)	Disposition	Beschaffung
Disponierte Verbindungselemente	Disposition	Beschaffung
Beschaffungskosten für Betriebsmittel & Zubehör	Beschaffung	Beschaffung
Nutzungsdauer von Betriebsmitteln	Controlling / Produktionswerk	Beschaffung
Entfernung Lieferant-Werk	Logistikplanung	Logistik
Transportkostensätze	Logistikplanung	Logistik
Zulässige Transportgewichte (LKW, Behälter)	Logistikplanung	Logistik
Masse des Verbindungselementes	Konstruktion / Normung	Logistik
Lagerkosten	Logistikplanung	Logistik
Lagerdauer	Logistikplanung / Produktionswerk / Prozessanalyse	Logistik
Arbeitszeiten pro Logistikstufe	Logistikplanung / Prozessanalyse	Logistik
Fertigungszeiten	Produktionsplanung / Prozessanalyse	Fertigung
Energieverbrauch	Produktionswerk / Messung	Fertigung
Energiekosten	Produktionswerk	Fertigung
Anzahl Betriebsmittel	Produktionsplanung / Produktionswerk	Fertigung
Arbeitszeiten für Installations-, Konfigurations-, Wartungs- und Instandsetzungsprozesse	Prozessanalyse / Produktionswerk	Fertigung
Instandsetzungsintervalle und -kosten	Prozessanalyse / Produktionswerk	Fertigung

Die strukturierte Erfassung, Bereitstellung und Auswertung der für die Ableitung der Kennzahlen notwendigen Daten erfordert neben den kulturellen Rahmenbedingungen auch die Implementierung von systemseitigen Voraussetzungen. Aufgrund der Vielzahl in großen Unternehmen vorhandener IT-Systeme bietet sich nach der Identifikation der für die Prognose notwendigen Daten eine Einordnung dieser Daten in die Systemlandschaft an. Dabei senkt die Existenz von Data Warehouse Systemen oder Data Lakes

den Aufwand bei der Datenerhebung und Auswertung erheblich [BAU13; FRE18]. Alternativ sind die notwendigen Daten direkt aus den Systemen der verantwortlichen Unternehmensbereiche zu beziehen, wobei für eine regelmäßige Aktualisierung der Kennzahlen in einer nachhaltigen Implementation des Konzeptes die Anbindung über geeignete Schnittstellen notwendig ist. Die vorherige Implementierung einer unternehmensweiten, geeigneten Plattform oder IT-Architektur wie der „service-orientierten Architektur“ (SOA) oder der „Enterprise Application Integration“ (EAI) kann den Aufwand in diesem Zusammenhang ebenfalls reduzieren [AIE07; ZEP09]. Für die regelmäßige Auswertung der bereitgestellten Daten sowie für die Durchführung der Teilprozesskostenberechnungen bietet sich darüber hinaus die Nutzung eines Assistenzsystems an.

Der zentrale Mehrwert der frühzeitigen Durchführung von Prozesskostenprognosen ergibt sich schließlich durch die bedarfsgerechte Bereitstellung der Prognoseergebnisse in der Entwicklungsphase<sup>7</sup>. In Kapitel 2.2 wurde aufgezeigt, dass ein Großteil der Kostenfestlegung bereits in der Entwicklungsphase eines Produktes stattfindet. Je größer deshalb das Wissen über die in den Folgeprozessen anfallenden Kosten bereits in der frühen Phase der Entwicklung ist, desto gezielter können auch wirtschaftlich vorteilhafte Entscheidungen bei der Auswahl der Verbindungstechnik getroffen werden. Deshalb ist die Integration Prozesskostenprognose direkt in das Arbeitsumfeld des Konstrukteurs für den Umsetzungserfolg maßgeblich. So ist zum Beispiel die Prognose der Folgekosten durch ein Add-on im CAD-System parallel zum Aufbau der Geometrie eine Möglichkeit die Konstrukteure durch Kostentransparenz für die wirtschaftlichen Auswirkungen ihrer Entscheidungen zu sensibilisieren. Darüber hinaus kann die Prozesskostenprognose auch einen Beitrag zu einer Reduzierung der Variantenvielfalt von Verbindungselementen und zur Standardisierung von Modulverbindungen liefern (vgl. Kapitel 7.5).

#### 7.4 Erweiterungen der Betrachtung auf weitere Lebensphasen

Die bisherigen Betrachtungen der Prozesskostenprognose beziehen sich auf die Lebensphasen der Entwicklung und der Fertigung. Aufgrund des herstellerzentrierten Fokus auf Kosten und der geringen Auswirkungen der Verbindungstechnik auf die Zahlungsbereitschaft der Kunden (vgl. Kapitel 3) wurden nur die direkt für den Hersteller der Verbindung anfallenden Kosten betrachtet. Die vorgestellte Methode zur frühzeitigen Prognose der Folgekosten einer Entwicklungsentscheidung kann jedoch auch auf die

---

<sup>7</sup> Die Umsetzung mittels entsprechenden Tools kann Kapitel 7.6 entnommen werden.

Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ausgeweitet werden. Dafür sind die im Zusammenhang mit der Verbindungstechnik entstehenden Kosten in der Nutzungsphase und in der Entsorgungsphase zu betrachten.

In der Nutzungsphase können zwei für den Kunden relevante und im Zusammenhang mit der Verbindungstechnik stehende Kostentreiber identifiziert werden – die Reparaturgerechtigkeit und das Gewicht. In der Nutzungsphase entstehen für den Kunden durch regelmäßige Wartungen sowie geplante und ungeplante Instandhaltungen wiederholt Kosten. Neben der Beschaffung von Ersatzteilen wird ein großer Anteil dieser Kosten durch den Ausbau defekter oder verschlissener Bauteile und den Einbau von Ersatzteilen verursacht. Die Wahl der Verbindungstechnik, die Anzahl der Verbindungspunkte und deren Erreichbarkeit sind dabei zentrale Einflussgrößen auf die Dauer und damit die Kosten der Wartungs- bzw. Instandhaltungsmaßnahme. Deshalb kann ein Teil der für den Kunden entstehenden Werkstattkosten auf den Reparaturprozess, also das Lösen und spätere Wiederherstellen von Verbindungen, zurückgeführt werden. In Abhängigkeit der Reparaturgerechtigkeit der konstruierten Verbindung und der Häufigkeit eines Reparaturbedarfs lassen sich auf diese Weise die Kosten pro Verbindung ableiten. Die frühzeitige Prognose dieser Kennzahlen stellt insbesondere im Hinblick auf die Häufigkeit des Reparaturbedarfs eine Herausforderung dar, sodass auf Basis von Erfahrungswerten vergangener Projekte entsprechende Annahmen zu treffen sind.

Darüber hinaus ist auch das Gewicht der Verbindungselemente ein Faktor für die Betrachtung der Kosten in der Nutzungsphase. So ist der Treibstoffverbrauch auch vom Gewicht des Fahrzeugs abhängig. Auf diese Weise können die Treibstoffkosten, die in der Nutzungsphase anfallen, anteilig auf diejenigen Verbindungen verteilt werden, die zusätzliche Verbindungselemente benötigen.

Schließlich kann auch die Entsorgungsphase in die Betrachtung der Prozesskostenprognose aufgenommen werden. Eine professionelle und umweltfreundliche Entsorgung eines Automobils verursacht Kosten, die an den Besitzer weitergegeben werden. Aufgrund der Möglichkeit viele der eingesetzten Rohstoffe zu recyceln, ist der Anteil der Recyclingkosten im Vergleich zu den Kosten für Beschaffung und Nutzung gering. Deshalb bietet sich auch mit Blick auf die anteilige Verteilung der Recyclingkosten auf die Verbindungstechnik eine pauschale Verrechnung zum Beispiel in Abhängigkeit des Gewichtsanteils an.

Durch die Berücksichtigung der für den Kunden entstehenden Kosten in der Nutzungs- und Entsorgungsphase eines Automobils können die gesamten Lebenszykluskosten der Verbindungstechnik erfasst und frühzeitig in Entwicklungsentscheidungen über die Auswahl und Gestaltung der Verbindungstechnik berücksichtigt werden.

## 7.5 Anwendung bei der Standardisierung von Verbindungskonzepten

Die Prozesskostenprognose wurde zunächst für die frühzeitige, wirtschaftliche Bewertung eines Verbindungspunktes beschrieben. In der Konstruktion eines Automobils steht jedoch in erster Linie die Befestigung ganzer Module im Fokus, die aus mehreren Verbindungspunkten und teilweise mehreren Verbindungstechniken bestehen kann. Aus diesem Grund ist eine Aggregation der Betrachtung aller an der Modulbefestigung beteiligten Verbindungspunkte für die bedarfsgerechte Bereitstellung der Kosteninformationen im Entwicklungsprozess hilfreich. Dadurch wird gleichzeitig eine wirtschaftliche Vergleichbarkeit zwischen der Befestigung ähnlicher Module in unterschiedlichen Fahrzeugprojekten ermöglicht.

Zunächst soll der Begriff des Verbindungskonzeptes definiert werden. In dieser Arbeit repräsentiert ein Verbindungskonzept ein Bündel von Merkmalen, die zur vollständigen Beschreibung der Befestigung eines Moduls im Fahrzeug maßgeblich sind. Diese Merkmale umfassen für jeden Verbindungspunkt des Moduls die verwendete Verbindungstechnik, die Position und Lage im Koordinatensystem des Fahrzeugs oder relativ zum Modul, für die Verbindung notwendige Verbindungselemente sowie Prozessparameter, Betriebsmittel und Fertigungsschritte für die Herstellung der Verbindung. Falls das Modul in Abhängigkeit der Ausstattung des Fahrzeugs in mehreren Varianten verbaut wird, ist für ein Verbindungskonzept darüber hinaus festzuhalten, für welche dieser Modulvarianten es gültig ist.

Durch die Anwendung der Prozesskostenprognose auf alle Verbindungspunkte eines Verbindungskonzeptes kann die Befestigung ganzer Fahrzeugmodule wirtschaftlich bewertet werden. Darauf aufbauend ist es leicht möglich, die Verbindungskonzepte ähnlicher Module in unterschiedlichen Fahrzeugprojekten mit allen relevanten Merkmalen sowohl technisch als auch wirtschaftlich zu vergleichen, sodass die Variantenvielfalt der zum Teil unabhängig voneinander entwickelten Befestigungslösungen transparent wird. Auf Grundlage dieser wirtschaftlichen Transparenz können die Methoden für das Management von Variantenvielfalt erweitert werden. So kann durch diese Betrachtung die Standardisierung und Variantenreduzierung nicht mehr nur auf Bauteilebene durchgeführt werden. Vielmehr kann eine integrierte Betrachtung von Fahrzeugmodul und Verbindungskonzept erfolgen, sodass neben der Reduzierung der Bauteilvarianz auch eine Reduktion der Variantenvielfalt der Fertigungsschritte und Betriebsmittel erreicht werden kann.

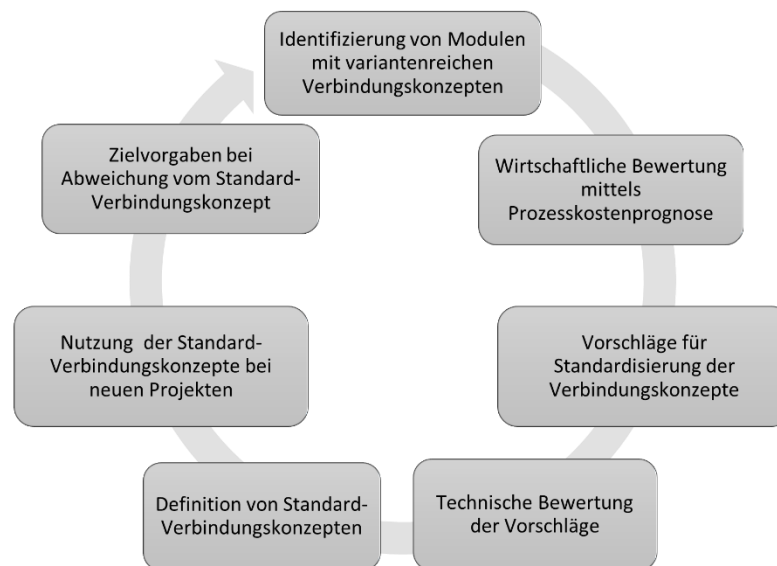


Abbildung 32: Iterativer Prozess zur Standardisierung von Verbindungskonzepten (eigene Darstellung)

Ein mögliches Vorgehen für die integrierte Varianten- und Komplexitätsreduzierung durch die Verwendung von Verbindungskonzepten soll im Folgenden beschreiben werden. Die Grundlage für eine Variantenreduzierung ist zunächst die Transparenz über die Anzahl und Verwendung der vorhandenen Varianten. Zu diesem Zweck können beispielsweise Stücklisten, PLM- oder DMU-Systeme aktueller und vergangener Entwicklungsprojekte modulweise ausgewertet werden, um vorhandene Verbindungskonzeptvarianten zu identifizieren. Vorhandene Teilenummer-Systematiken oder standardisierte Produktstrukturen können die Erkennung vergleichbarer Module unterstützen. Auf Grundlage dieser Analyse kann eine Priorisierung der weiteren Untersuchung stattfinden. Beispielsweise können zunächst diejenigen Module betrachtet werden, die eine hohe Varianz und dadurch ein großes Potential für Standardisierung aufweisen. Die Varianten der ausgewählten Verbindungskonzepte sind daraufhin durch Verwendung der Prozesskostenanalyse wirtschaftlich zu bewerten. Falls entsprechende Systemschnittstellen vorhanden und die für die Analyse notwendigen Kennzahlen vollständig erhoben sind, ist eine Automatisierung dieses Prozesses durch Verwendung eines entsprechenden Tools möglich und kann den Aufwand erheblich reduzieren. Durch die Analyse bereits vorhandener Projekte ist die technische Funktionsweise der identifizierten Verbindungskonzepte grundsätzlich sichergestellt, sodass im nächsten Schritt die kostengünstigsten Konzepte als neuer Standard vorgeschlagen werden können. Dabei ist ggf. zu beachten, dass aufgrund der unterschiedlichen Belastungssituationen ein baureihenabhängiger Vorschlag für die Standardisierung zielführender ist. Die Vorschläge sind daraufhin durch die verantwortlichen Entwicklungsabteilungen hinsichtlich des Potentials für einen fahrzeugprojektübergreifenden Einsatz technisch zu bewerten, sodass nach einer entsprechenden Freigabe ein wirtschaftlich vorteilhaftes und technisch bewährtes

Verbindungskonzept als neuer Standard für die Befestigung des jeweiligen Moduls definiert werden kann. Bei neuen Fahrzeugprojekten kann die Verwendung der Standard-Verbindungskonzepte auf unterschiedliche Weise abgesichert werden. So können die Produktstrukturen in den führenden Systemen bereits bei der Initialisierung mit den entsprechenden Daten befüllt werden, sodass für die Nutzung eines alternativen Konzeptes eine Änderung durch den Konstrukteur aktiv vorgenommen werden muss. Parallel dazu kann auch im CAD-System bei der Entwicklung des Moduls auf das zu verwendende Verbindungskonzept aufmerksam gemacht werden. Um zum einen die Anzahl der Varianten langfristig zu begrenzen und zum anderen trotzdem Raum für Innovationen zu lassen, ist die Vereinbarung von wirtschaftlichen Zielvorgaben bei der Abweichung vom Standard denkbar. So werden neue Varianten für die Befestigung einzelner Module nur zugelassen, wenn diese auch wirtschaftliche Vorteile bieten. Abschließend ist ein regelmäßiges, automatisiertes Monitoring der produktdatenhaltenden Systeme hinsichtlich des Durchdringungsgrades der standardisierten Verbindungskonzepte notwendig, sodass eine Zunahme der Variantenvielfalt von Verbindungskonzepten frühzeitig erkannt und entsprechend dem oben beschriebenen Prozess entgegengewirkt werden kann.

Insgesamt kann die Prozesskostenprognose in der Verbindungstechnik somit nicht nur Konstruktionsentscheidungen innerhalb eines Fahrzeugprojektes ganzheitlich, wirtschaftlich bewerten, sondern durch die modulabhängige Analyse anderer Projekte auch einen vergleichenden Kontext erzeugen. Auf Basis dieses Kontextes können daraufhin Maßnahmen zur Standardisierung und Variantenreduzierung von Verbindungskonzepten zielführend umgesetzt werden.

## 7.6 Bedarfsgerechte Informationsbereitstellung mittels eines Assistenzsystems

Die Auswertung der Rohdaten zur Ableitung der notwendigen Kennzahlen und die Kalkulation der Prozesskostenprognose bedarf einer Vielzahl einzelner Berechnungsschritte. Darüber hinaus ist die bedarfsgerechte Darstellung der Ergebnisse zum Zeitpunkt der relevanten Entwicklungsentscheidungen ein kritischer Erfolgsfaktor bei der Implementierung des Verfahrens. Deshalb ist die Entwicklung eines geeigneten Assistenzsystems zur Automatisierung der Berechnung und zur Integration der Ergebnisdarstellung in die vorhandenen Entwicklungssysteme eine zielführende Maßnahme, um die Akzeptanz des Verfahrens sowie die Verwendung der Ergebnisse im Produktentwicklungsprozess zu unterstützen. Im Folgenden wird deshalb zunächst ein Stufenmodell zur Umsetzung der Prozesskostenrechnung mittels einer IT-basierten Lösung vorgestellt. Anschließend wird diese Softwarelösung in den Produktentwicklungsprozess und die bestehende Systemlandschaft eingeordnet sowie die organisatorischen Implikationen dargestellt.

### 7.6.1 Inkrementelle Entwicklung des Assistenzsystems

Der Softwareentwicklungsprozess bildet den Rahmen für die Entwicklung einer Softwarelösung zur digitalen Durchführung der Prozesskostenprognose in der Verbindungstechnik. Dieser beschreibt von Projektstart bis Produktionsstart der Software die zentralen Aktivitäten, die in Abhängigkeit des gewählten Vorgehensmodells sequenziell, teilweise parallel oder iterativ durchlaufen werden. Die Anforderungsanalyse stellt die Grundlage für das Design und die Implementierung der Softwarelösung dar. Nach den notwendigen Tests erfolgt schließlich die Auslieferung. Parallel zu diesen Aktivitäten finden das Projekt- und Qualitätsmanagement sowie das Konfigurations- und Änderungsmanagement statt [PLE11]. In Abhängigkeit der Entwicklungsphilosophie existieren für die konkrete Umsetzung des Projektes unterschiedliche Vorgehensmodelle, die in die Kategorien klassisch-sequenziell, klassisch-iterativ-inkrementell und agil eingeteilt werden können [PFE21]. Zum Beispiel stellt das V-Modell in der Softwareentwicklung in Analogie zur Anwendung in der Produktentwicklung (vgl. Kapitel 4.2) die Bedeutung von Tests auf allen Detaillierungsebenen der Produkterstellung in den Fokus. Dabei werden drei Ebenen unterschieden (vgl. Abbildung 33). Die Anwendersicht bezieht sich auf das abzunehmende Gesamtsystem, während aus Perspektive der Architektur insbesondere Integrationstests im Fokus stehen. Die untere Detaillierungsebene betrachtet schließlich die Implementierung und den Test der einzelnen Softwarekomponenten.

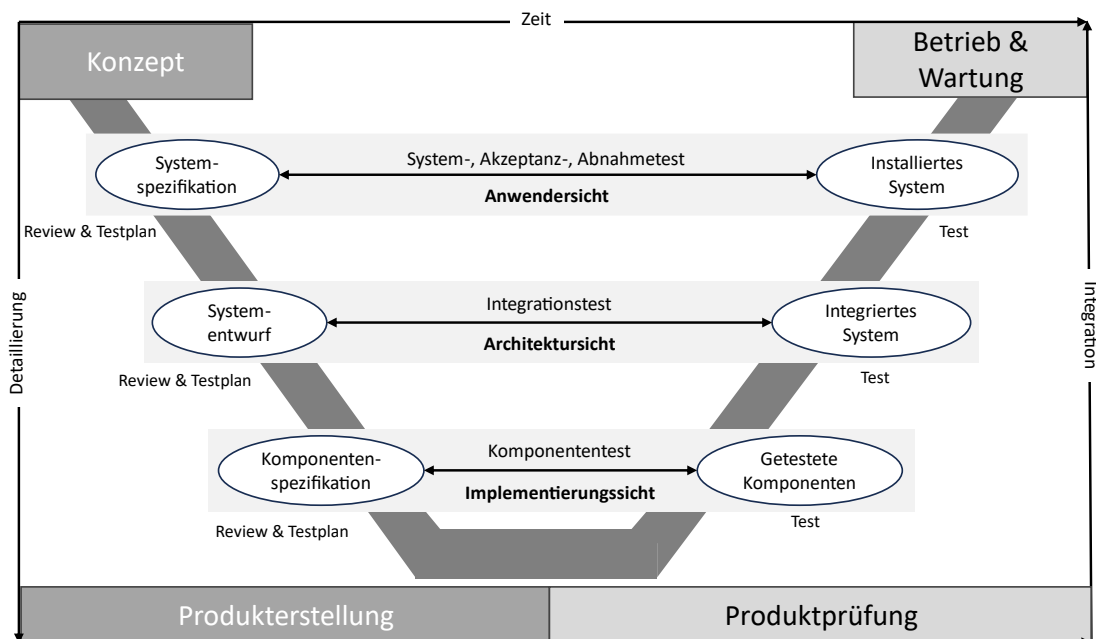


Abbildung 33: Das V-Modell nach Boehm [PFE21]

Ein Nachteil klassisch-sequenzieller Vorgehensmodelle ist die späte Erkennung von Missverständnissen in der Anforderungsanalyse und von Fehlern auf Gesamtsystemebene. Diese Nachteile werden durch iterativ-inkrementelle und agile Vorgehensmodelle

reduziert, indem frühzeitig Demonstratoren und Prototypen entwickelt und durch den Kunden getestet werden. Das „V-Modell XT“, mit dem öffentliche Projekte in der Bundesrepublik Deutschland geplant und umgesetzt werden, vereint beispielsweise die Ansätze des klassischen V-Modells mit inkrementellen und agilen Ansätzen [HÖH08], sodass auf Grundlage dieses oder eines vergleichbaren Vorgehensmodells auch eine iterative Umsetzung eines Assistenzsystems für die Prozesskostenprognose der Verbindungstechnik ermöglicht wird.

Eine solche iterative Umsetzung bietet die Möglichkeit sowohl die Komplexität bei der Beschaffung und Auswertung der notwendigen Daten und Kennzahlen schrittweise zu erhöhen als auch parallel zum Entwicklungsprozess die Akzeptanz und Durchdringung der Softwarelösung bei den Anwendern zu überprüfen und frühzeitig Maßnahmen zur verstärkten Orientierung am Bedarf der Anwender umzusetzen. Die Entwicklung vom Demonstrator bis zu einer vollautomatisierten, integrierten Systemlösung kann dabei in Form eines Stufenmodells durch die zunehmende Automatisierung von Dateneingabe und Ergebnisausgabe strukturiert werden (vgl. Abbildung 34).

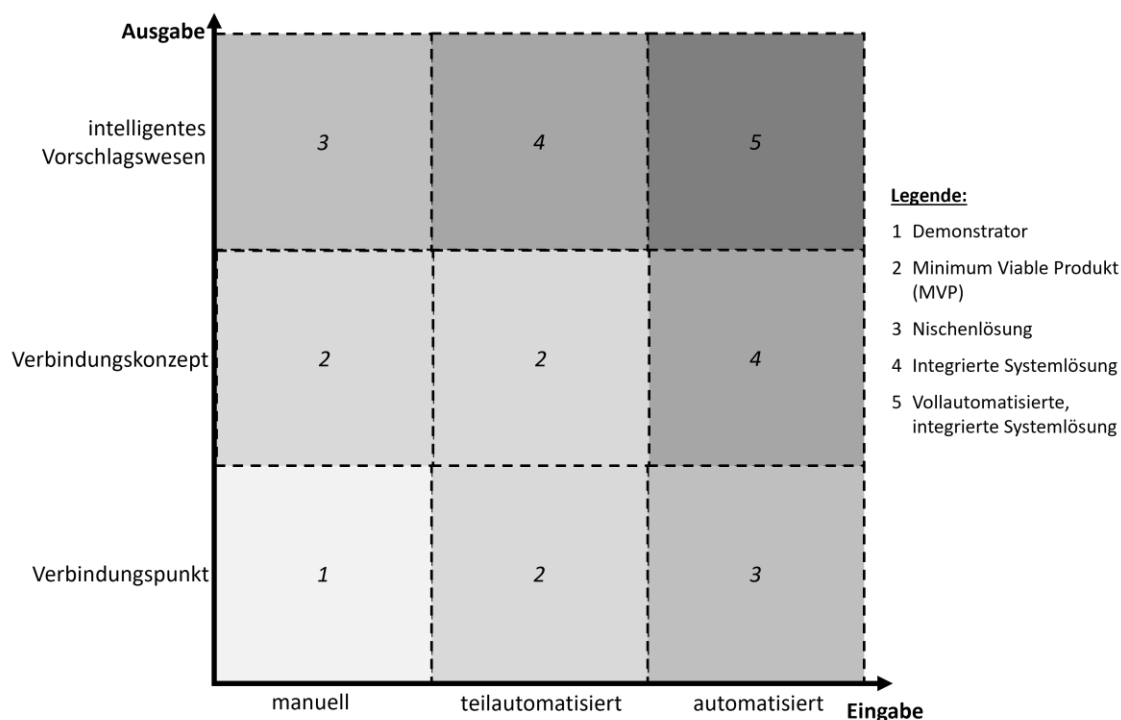


Abbildung 34: Stufenmodell zur Umsetzung eines Assistenzsystems (eigene Darstellung)

Für die Erstellung eines Demonstrators ist es zunächst ausreichend eine manuelle Eingabe der Berechnungsparameter für die Kostenprognose eines Verbindungspunktes zu ermöglichen. Ein solcher Demonstrator ist mit geringem Aufwand zu entwickeln und kann das Konzept für eine Digitalisierung der Prozesskostenprognosen verdeutlichen. Im nächsten Schritt der iterativen Vorgehensweise kann ein „Minimum Viable Product“ (MVP) durch die Teilautomatisierung der Dateneingabe bzw. Ergebnisausgabe erstellt



werden. Im Rahmen dieses MVP würden die notwendigen Berechnungsparameter aus der Eingabe übergeordneter Metadaten abgeleitet werden. So können zum Beispiel durch die Eingabe einer Teilenummer das Bauteilgewicht, die Beschaffungskosten und notwendige Fertigungsschritte bestimmt werden. Auf diese Weise ist bereits durch wenige, frühzeitig bekannte Informationen die Kostenprognose eines Verbindungspunktes möglich. Außerdem kann der Demonstrator mit dem Fokus auf eine optimierte Ausgabe weiterentwickelt werden, sodass vollständige Verbindungskonzepte wirtschaftlich bewertbar und vergleichbar gemacht werden. Entsprechend dem iterativen Vorgehensmodell erfolgen unabhängig von der gewählten Entwicklungsrichtung unterschiedliche System- und Akzeptanztests für das erstellte MVP. Die Testergebnisse bilden die Basis für die Anpassung und Erweiterung der Anforderungen an die folgenden Entwicklungsstufen.

Die Weiterentwicklung der softwarebasierten Prozesskostenprognose erfolgt daraufhin schrittweise bis zu einer vollautomatisierten, integrierten Systemlösung. Diese ist direkt an die datenhaltenden Systeme angebunden und kann alle für die wirtschaftliche Bewertung eines Verbindungskonzeptes notwendigen Parameter aus diesen Systemen beschaffen. Durch die Integration in das CAD-System können die Modulverbindungen identifiziert und die Teilenummern möglicherweise vorhandener Verbindungselemente ausgeleitet werden. Der Abgleich dieser Teilenummern mit Stammdatensystemen, Stücklisten, Beschaffungs-, Logistik- und Fertigungssystemen ermöglicht die Ableitung der weiteren, für die Kalkulation notwendigen Parameter sowie die Identifizierung alternativer Verbindungskonzepte für das gewählte Modul. Nach der Berechnung der Kostenprognose erfolgt die Ausgabe direkt im CAD-System. Darüber hinaus können dem Konstrukteur durch die gleichzeitige Kostenprognose der identifizierten Alternativkonzepte sowie einer gegebenenfalls erfolgten Festlegung eines Standardverbindungskonzeptes Vorschläge zur Umsetzung kostensenkender Alternativen angezeigt werden.

### **7.6.2 Einordnung in den Produktentstehungsprozess**

Parallel zur technischen Umsetzung des Assistenzsystems für die frühzeitige Prozesskostenprognose in der Verbindungstechnik ist dessen nachhaltige Einbindung in den Produktentstehungsprozess sicherzustellen. Aufgrund der in Kapitel 2.2 dargestellten zeitlichen Abhängigkeit von Änderungskosten einerseits und der für die Berechnung notwendigen Kenntnis wichtiger Parameter andererseits, kann der Zeitraum für die zielführende Nutzung des Assistenzsystems eingegrenzt werden. Mit Verweis auf die Phasen und Meilensteine im Produktentstehungsprozess (vgl. Kapitel 4.4) erscheint der Einsatz der Prozesskostenprognose insbesondere zwischen der Projektdefinition und dem Designfreeze nutzenbringend. Zum einen liegen ab der Projektdefinition bereits wichtige Rahmendaten zum Fahrzeugprojekt vor. Dazu zählen das gewählte Referenzprojekt, der Fertigungsstandort und die Anforderungen an die Entwicklung des anstehenden Projek-

tes. Zum anderen kann durch eine frühe Einbindung der in Kapitel 7.5 eingeführten Standard-Verbindungskonzepte in der Konzeptentwicklungsphase eine zielgerichtete, frühzeitige Beeinflussung der eingesetzten Verbindungstechnik stattfinden. Zwischen der Konzeptfreigabe und dem Designfreeze findet die eigentliche Produktentwicklung statt. In dieser Phase werden die vorliegenden Verbindungstechnikdaten durch Änderungen gegenüber dem Referenzprojekt bzw. dem vorgegebenen Standard-Verbindungskonzept umgesetzt und dadurch wirtschaftlich bewertbar gemacht. Eine Beeinflussung des Entwicklungsergebnisses durch die Erzeugung einer Kostentransparenz ist deshalb in dieser Phase effektiv möglich, sodass mit dem Meilenstein Designfreeze eine nahezu vollständige Bewertung der Verbindungstechnik möglich sein sollte. In der Praxis können sich aufgrund der zum Teil geringen Priorisierung der Verbindungstechnik Verzögerungen bei der Vollständigkeit der Daten ergeben, sodass in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen ein Einsatz der Prozesskostenprognose bis zur Beschaffungsfreigabe notwendig werden kann.

Außerhalb des Produktentstehungsprozesses eines spezifischen Fahrzeugprojektes ist eine regelmäßige Auswertung und Bewertung aller relevanten Stücklisten bestehender Fahrzeugprojekte hilfreich, um alternative Verbindungskonzepte eines Moduls identifizieren und unter Berücksichtigung möglicherweise definierter Standards dem verantwortlichen Konstrukteur bei Folgeprojekten vorschlagen zu können.

Darüber hinaus sollte ein Regelprozess etabliert werden, der die Aktualisierung der notwendigen Kennzahlen für die Berechnung der Prozesskosten in allen beteiligten Unternehmensbereichen sicherstellt.

### **7.6.3 Integration in die Systemlandschaft**

In vielen großen Unternehmen existiert ein komplexes Systemumfeld, das durch die Vielzahl neuer und geänderter Geschäftsprozesse historisch gewachsen ist. Der Erfolg zusätzlicher Systemlösungen hängt deshalb zum einen von deren nachhaltiger, technischer Integration in die bestehende Systemlandschaft und zum anderen von der Akzeptanz der Anwender ab.

Wie die Prozessanalyse und die Herleitung der Formeln zur Berechnung der Teilprozesskosten aufgezeigt haben, ist die Bereitstellung von Daten aus diversen Geschäftsbereichen für die erfolgreiche Umsetzung des Konzeptes notwendig. Eine softwaregestützte Umsetzung profitiert deshalb von einer hohen Integration der bereits im Einsatz befindlichen datenhaltenden Systeme. Eine solche Integration kann durch eine konsequente, unternehmensweite Umsetzung entsprechender Softwarearchitekturen erreicht werden. Ein Beispiel dafür sind service-orientierte Architekturen. Diese bieten den Zugriff auf einzelne Dienste über einen Enterprise Service Bus an [HAS06]. Falls die Nutzung entsprechender Dienste für die Bereitstellung der benötigten Kennzahlen nicht möglich ist, kann eine Anbindung an die datenhaltenden Systeme über individuell gestaltete APIs

(application programming interfaces) erfolgen. Je nach Ausprägung findet die Kommunikation zwischen den Applikationen zum Beispiel über HTTP(S), SSH, Queueing, Mainframe oder direkte Datenbanklinks statt [PRE18].

Für die Umsetzung des Assistenten-Tools bietet sich die Nutzung einer hierarchischen Schichtenarchitektur an. Für betriebliche Informationssysteme hat sich eine Drei-Schichten-Architektur aus Datenhaltungs-, Geschäftslogik- und Präsentationsschicht etabliert [HAS06]. Während in der Datenhaltungsschicht die Grunddaten für die Berechnung der Kennzahlen sowie die Kennzahlen selbst gespeichert werden, findet die Datenverarbeitung in der Schicht für die Geschäftslogik statt. Für die Umsetzung der Präsentationsschicht wird eine Integration in das bestehende CAD-System der Entwicklungsabteilung vorgeschlagen. Auf diese Weise werden die Kosteninformationen direkt in der primären Konstruktionsumgebung der Entwickler transparent dargestellt, ohne dass eine zusätzliche, eigenständige Applikation gestartet und verwendet werden muss.

#### **7.6.4 Organisatorische Implikationen**

Die Implementierung einer frühzeitigen Produktbeeinflussung der Verbindungstechnik durch die Bereitstellung von Kostenprognosen hat neben den systemseitigen Herausforderungen auch Auswirkungen auf die Unternehmensorganisation und -prozesse sowie das Zusammenarbeitsmodell.

Durch die zunehmende Digitalisierung der Arbeitsabläufe und der verstärkten Vernetzung der entstehenden Daten nimmt die Komplexität in der Entwicklung immer weiter zu. Gleichzeitig ist insbesondere der Entwicklungsprozess von einem hohen Grad an Kreativität geprägt. Eine zentrale Herausforderung bei der Bereitstellung zusätzlicher Informationen ist deshalb deren Akzeptanz durch die Mitarbeiter. Diese kann durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden. Eine Grundlage bildet in diesem Zusammenhang das Vertrauen in die Korrektheit der Daten, das beispielsweise durch eine transparente Berechnung und Informationen zum Verständnis der Ergebnisse verbessert werden kann. Ein weiterer, vertrauensfördernder Aspekt ist die frühzeitige Einbindung der betroffenen Mitarbeiter in die Konzeption und Implementierung des Verfahrens. Darüber hinaus kann die Akzeptanz durch die bedarfsgerechte Bereitstellung der Kostenprognosen unterstützt werden. Wichtige Faktoren dafür sind die Einbindung der Systemlösung in die bekannte Arbeitsumgebung, wie das verwendete CAD-System, sowie eine weitgehende Automatisierung der Kostenberechnung, sodass die Ergebnisse ohne zusätzlichen Aufwand des Mitarbeiters nutzbar werden. Unter dem Begriff „bedarfsgerecht“ ist außerdem zu verstehen, dass die bereitgestellten Informationen auf den Kontext der aktuellen Arbeitsaufgabe, z.B. das im CAD-System geöffnete Modul, bezogen sein müssen. Schließlich kann die Akzeptanz bei der Anwendung des beschriebenen Verfahrens durch zusätzliche Funktionalitäten verbessert werden, die Arbeitsaufgaben vereinfachen oder vollständig automatisieren. Dabei können beispielsweise Positionierungshilfen der Verbindungstechnik in der Konstruktion oder, im Falle der Verwendung eines Standard-Verbindungskonzeptes, die automatische Weiterleitung aller relevanten

Daten an die nachfolgenden Systeme zum Einsatz kommen. Insgesamt kann eine nachhaltige Implementierung der Prozesskostenprognose in der Verbindungstechnik nur sichergestellt werden, wenn der durch die Konstrukteure subjektiv wahrgenommene Nutzen überwiegt.

Neben den Auswirkungen auf die Konstruktion beeinflusst die Implementierung des Verfahrens auch das Vorgehen bei der Standardisierung von Verbindungstechnik. Die Reduzierung von Varianz bezieht sich in der Regel auf die Bauteilebene. So sind Standardisierungsbemühungen häufig durch die Reduktion der Teilenummernvielfalt geprägt. Der Ansatz der Standard-Verbindungskonzepte beschreibt die Komplexität der Variantenvielfalt jedoch mit einem Bündel von Merkmalen, von denen die Teilenummer nur ein Aspekt ist. Vielmehr ergibt sich die Varianz neben der Bauteilvielfalt insbesondere aus unterschiedlichen Fertigungsprozessen. Der Ansatz einer Standardisierung durch die ganzheitliche, wirtschaftliche Bewertung von Verbindungskonzepten erweitert somit den Aufgabenbereich bestehender Normungs- und Standardisierungsabteilungen und verändert den Fokus von Teilnummern auf die im Lebenszyklus einer Verbindung anfallenden Kosten. Die zuständigen Abteilungen übernehmen dadurch die Aufgabe Kosteninformationen und technische Anforderungen zu vereinen und die abgeleiteten, standardisierten Verbindungskonzepte allen Stakeholdern bedarfsgerecht bereitzustellen.

## 8 Validierung der Prozesskostenprognose

Die Validierung der frühzeitigen Kostenbeeinflussung in der Verbindungstechnik durch Nutzung der Prozesskostenprognose erfolgte im Rahmen eines Forschungsprojektes bei einem Automobilhersteller. Dieses vierjährige Projekt wurde bereichsübergreifend durch die Entwicklung und die Produktionsplanung beauftragt und fokussierte sich auf die wirtschaftliche Bewertung der montagerelevanten Schraubtechnik. Die Zielsetzung war die Unterstützung der Produktentwicklung durch ein Assistenzsystem, das als MVP umgesetzt wurde.

### 8.1 Vorgehensweise

Der Projektaufbau gliederte sich entsprechend der Empfehlung von Wieczorrek zum Vorgehen in IT-Projekten in die sechs Phasen Initialisierung, Definition, Planung, Vorgehen, Kontrolle und Abschluss [WIE11].

In der Initialisierungsphase wurde zunächst die Anforderungsanalyse durchgeführt. Die Grundlage dafür bildeten vorangegangene Forschungsarbeiten im Kontext des Normteilmanagements [SCH13], des Zusammenarbeitsmodells zwischen Entwicklung und Produktionsplanung [LUC12] sowie der frühzeitigen Produktbeeinflussung [BRO10]. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse einer Voranalyse zum Thema des wirtschaftlichen Nutzens einer Variantenreduzierung von Verbindungselementen berücksichtigt.

In der Projektdefinition wurden die Projektziele definiert und ein Gesamtprojektplan abgestimmt, der zentrale Meilensteine und Aufgabenpakete umfasste. Darüber hinaus wurden sowohl in der Entwicklungsabteilung als auch in der Produktionsplanung operative Ansprechpartner benannt, die die Durchführung des Projektes inhaltlich unterstützten. Als Koordinationsgremium fungierten Mitglieder des mittleren Managements, die aus beiden verantwortlichen Unternehmensbereichen stammten, sowie Prof. Dr.-Ing. Mantwill, Leiter der Professur für Maschinenelemente und Rechnergestützte Produktentwicklung an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, als wissenschaftliche Begleitung. Den Abschluss der Definitionsphase bildete nach der Beauftragung des Projektes eine Kick-off-Veranstaltung mit allen Beteiligten, in der die Projektinhalte vorgestellt und bestätigt wurden.

Die Planungsphase umfasste die Detaillierung des Projektplans. So wurde vereinbart, dass aufbauend auf der Voranalyse die geschäftsbereichsübergreifende Prozessanalyse zunächst für ein konkretes Fahrzeugprojekt untersucht werden sollte. Die Untersuchung der Hauptprozesse Entwicklung, Beschaffung, Logistik und Montageplanung inklusive einer Betrachtung der Betriebsmittel sollte im Rahmen von Teilprojekten realisiert werden. Nach einer Ausweitung der Analyse auf weitere Fahrzeugprojekte sollte auf Grundlage der identifizierten Kostentreiber die Entwicklung eines Prototyps beginnen,

der eine wirtschaftliche Bewertung von Konstruktionsentscheidungen in der montage-relevanten Verbindungstechnik ermöglicht. Dieser Prototyp sollte im weiteren Projektverlauf inkrementell weiterentwickelt und optimiert werden, sodass im Rahmen einer iterativen Validierung auch erste Optimierungspotentiale identifiziert und umgesetzt werden können.

In der Umsetzungs- bzw. Vorgehensphase wurde für die Umsetzung des Assistenzsystems die Methode des „inkrementellen Prototypings“ angewendet. Diese Methode ist durch das schrittweise Vorgehen bei der Entwicklung eines Prototyps mit regelmäßigen Tests und Kundenfeedback gekennzeichnet. Dabei werden zunächst die technischen Kernanforderungen umgesetzt und weitere Anforderungen in späteren Iterationen berücksichtigt. Nach jeder Erweiterung finden Tests und Überprüfungen zur Freigabe des nächsten Entwicklungsschrittes statt. Durch die regelmäßige Überprüfung der Anforderungsumsetzung und die laufende Abstimmung mit den Kunden können Fehler frühzeitig identifiziert und neue Erkenntnisse und Anforderungen im Projektverlauf berücksichtigt werden [WIE11].

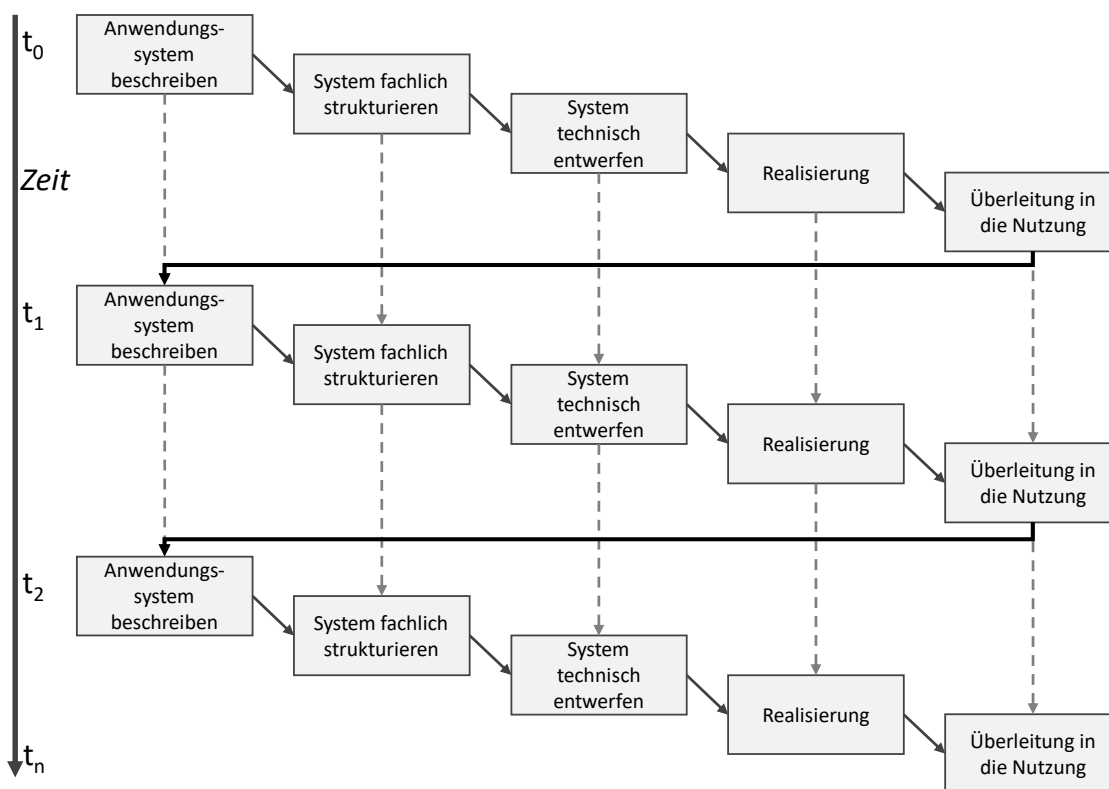


Abbildung 35: Aktivitäten beim inkrementellen Vorgehensmodell [WIE11]

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die inkrementelle Vorgehensweise bei der Prototypenerstellung in zwei Dimensionen umgesetzt. So wurden zum einen die berücksichtigten Teilprozesskosten schrittweise analysiert und implementiert. Zum anderen wurde der in Kapitel 7.6.1 beschriebene Funktionsumfang hinsichtlich Ein- und Ausga-

bemöglichkeiten inkrementell erweitert, sodass mit dem Prototyp abschließend eine automatisierte Bewertung von Verbindungskonzepten unter der Berücksichtigung diverser Kosteneinflussgrößen ermöglicht wurde.

Die Kontrolle des Projektes wurde im Rahmen quartalsweise stattfindender Statustermine realisiert. In diesen Terminen wurden die Zwischenergebnisse der Prozessanalyse, der prototypischen Umsetzung des Assistenzsystems sowie die Umsetzung von Optimierungspotentialen vorgestellt und die strategische Ausrichtung des Projektes durch das Koordinationsgremium überprüft.

Das Projekt wurde am Ende der Laufzeit abgeschlossen. Die Projektergebnisse inklusive des prototypisch umgesetzten Assistenzsystems und entsprechender Schulungsunterlagen wurden für die Weiterentwicklung in eine integrierte Systemlösung übergeben. In einer Abschlusspräsentation konnten diverse realisierte Einsparungen und weitere Optimierungspotentiale aufgezeigt werden, deren weitere Vertiefung im Rahmen eines Folgeprojektes untersucht werden sollten.

## 8.2 Ergebnisse

Die zwei zentralen Bestandteile des Forschungsprojektes waren die Prozesskostenanalyse in den relevanten Unternehmensbereichen sowie die Entwicklung und Erprobung des prototypisch entwickelten Assistenzsystems für die frühzeitige Bereitstellung der ganzheitlichen Prozesskostenprognosen.

Entsprechend des Projektplans wurden die Prozesskosten der montagerelevanten Verbindungstechnik am Beispiel der Schraubtechnik in den relevanten Geschäftsbereichen in der ersten Projektphase im Rahmen von Teilprojekten untersucht. Die analysierten Prozesse waren der Entwicklungsprozess, die Logistikprozesse und die Produktionsplanung der Montage.

Die Analyse der Entwicklungsaktivitäten zeigte auf, dass die Verbindungstechnik von der Anforderungsanalyse über die Auslegung und Konstruktion im CAD-System inklusive einer Beratung durch die Normungsstelle bis hin zur virtuellen und physischen Absicherung Aufwände erzeugt. Die befragten Konstrukteure, Berechner und Testingenieure wiesen allerdings darauf hin, dass die Verbindungstechnik in vielen dieser Prozesse keine priorisierte Bedeutung hat. Vielmehr sei die Verbindungstechnik Bestandteil von übergeordneten Aktivitäten zum Beispiel der Bauteilkonstruktion oder von Modul- und Gesamtfahrzeugtests. Nur einige Entwicklungsaktivitäten konnten exklusiv der Verbindungstechnik zugeordnet werden. Dazu gehörten die einmalige Konstruktion und -beschaffung neuer Verbindungselemente oder spezifische, physikalische Tests im Schraublabor. Vor diesem Hintergrund kam für die Prognose der Entwicklungsaufwände eine anteilige Betrachtung vieler Teilprozesse zum Einsatz. Darüber hinaus zeigte sich in den Interviews mit den Teilnehmern der Analyse, dass pauschale Aussagen über den

durchschnittlichen Aufwand innerhalb der Teilprozesse der Entwicklung nur eingeschränkt möglich sind, da je nach Anforderung und Abweichung zum Referenzprojekt eine große Varianz zu verzeichnen ist. Aus diesem Grund wurden Fallbeispiele in unterschiedlichen Baugruppen, Fachabteilungen und Konstruktionsarten ausgewählt und analysiert. Als Ergebnis der Prozesskostenbetrachtung in der Entwicklung konnte dadurch zum einen eine Szenarioanalyse erstellt und die durchschnittlichen Kosten in Abhängigkeit der Konstruktionsart abgeleitet werden.

Im Rahmen der Logistikkostenbetrachtung wurden sowohl die Inbound-Logistik als auch die Inhouse-Logistik betrachtet. Da wie in Kapitel 7.2.2 beschrieben die Inbound-Logistik in der Regel nicht durch den Automobilhersteller selbst, sondern von Speditionsdienstleistern durchgeführt wird, lagen der entsprechenden Fachabteilung die für die Kostenprognose notwendigen Berechnungsgrundlagen und Abhängigkeiten vor. Dabei wurden zur Vereinfachung bei Schüttgut keine einzelnen Bauteile betrachtet, sondern mit Standard-Transportbehältern kalkuliert. Die Verteilung der Transportkosten eines Behälters auf die pro Behälter transportierten Verbindungselemente erfolgte durch die Berücksichtigung der Gewichtsbeschränkungen pro Behälter. Die Analyse der Inhouse-Logistik hat aufgezeigt, dass für eine detaillierte Kostenprognose sowohl die Gegebenheiten des Produktionswerkes als auch das Hallenlayout der Montagelinie bekannt sein müssen. Wesentliche Abhängigkeiten für die Höhe der Kosten waren dabei die Anzahl der Umschlagpunkte zwischen Zentrallager und Verbauort sowie die Transportdistanz zwischen diesen Orten. Die konkrete Analyse am Beispiel eines Produktionsstandortes hat allerdings aufgezeigt, dass aufgrund der großen Menge der gleichzeitig transportierten Verbindungselemente die absolute Höhe der Logistikkosten pro Verbindungselement im Vergleich zu den anderen betrachteten Kostenfaktoren gering ist. Aus diesem Grund wurden die Inhouse-Logistikkosten im Weiteren anhand eines Standardlayouts prognostiziert. Die an der Analyse beteiligten Fachexperten bestätigten darüber hinaus, dass die für eine spezifische Prognose notwendigen Daten in der frühen Phase des Entwicklungsprojektes teilweise weder bekannt noch automatisiert auswertbar wären. Die vereinfachte Logistikkostenbetrachtung reduzierte die Komplexität im weiteren Projektverlauf somit erheblich.

Die Analyse der Produktionsplanung teilte sich in die Betrachtung der Fertigungsaktivitäten und die Untersuchung der Betriebsmittelkosten auf. Die für die Herstellung der Schraubverbindung notwendigen Aktivitäten wurden mittels MTM-Verfahren ausgewertet. Dabei wurden unterschiedliche Varianten unterschieden. So wurde zunächst die Art des Verbindungselementes betrachtet. Dabei wurden sowohl Schrauben und Muttern als auch weitere montagerelevante Verbindungselemente wie Nieten, Clips und Schellen analysiert. Weitere Variablen, die in der Prognose der Fertigungszeiten berücksichtigt wurden, sind die Sicherheitsklassifizierung einer Verschraubung, die Anzahl der Verbindungselemente pro Arbeitsplatz, die Varianz der Verbindungselemente pro Arbeitsplatz,



notwendige Wechsel des Betriebsmittels oder des Werkzeugaufsatzes sowie geometrische Besonderheiten der Verbindungselemente, die Einfluss auf die Fertigungszeit haben. Auf diese Weise konnte auf standardisierte Weise die voraussichtliche Montagezeit für die Fertigung der Verbindung automatisiert berechnet werden. Die notwendigen Variablen für die Berechnung waren die Teilenummer, die Sicherheitsklassifizierung und die Anzahl der Verbindungselemente. Die befragten Konstrukteure gaben in diesem Zusammenhang an, dass die genannten Eingangsgrößen bereits frühzeitig bekannt und somit im Rahmen einer frühzeitigen Kostenprognose verwendbar sind. Gleichzeitig bestätigten die an der Analyse beteiligten Produktionsplaner, dass dieses Vorgehen auch die Grundlage für die Ausplanung der Montagelinie darstellt, sodass Abweichungen zwischen Prognose und späterer Detailplanung minimiert werden konnten.

Für die Ermittlung der Betriebsmittelkosten wurden typische Betriebsmittel in der Schraubtechnik analysiert. Die betrachteten Kostenfaktoren ergaben sich aus einer Analyse der Lebenszykluskostenmodelle DIN EN 60300-3-3 [DIN14], VDI 2884 [VDI05] sowie VDMA 34160 [VDM06]. Insgesamt wurden 59 Kostenfaktoren berücksichtigt, die in die Phasen Vor-Nutzungsphase, Nutzungsphase und Nach-Nutzungsphase kategorisiert wurden. Diese Detailanalyse ermöglichte die Identifizierung der zentralen Kostenfaktoren bei der Betrachtung der Betriebsmittellebenszykluskosten von Schraubwerkzeugen, sodass nachfolgende Aktualisierungen der Kostenanalyse auf diese Kostentreiber fokussiert werden können.

Insgesamt wurden in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Abteilungen der Entwicklung, Beschaffung, Logistik und Produktionsplanung die verbindungstechnikrelevanten Prozesse und Kostentreiber identifiziert. Darüber hinaus konnten geeignete Verfahren für die Prognose der Teilprozesskosten abgeleitet werden, die ausschließlich frühzeitig bekannte Parameter für die Berechnung einsetzen. Die Voraussetzung dafür war eine offene Kommunikationskultur und die Bereitschaft zu einem geschäftsbereichsübergreifenden Datenaustausch.

Auf Grundlage der Prozesskostenprognosen wurde der Prototyp des Assistenzsystems für eine frühzeitige Beeinflussung der Entwicklungsentscheidungen entwickelt. Entsprechend des inkrementellen Vorgehensmodells wurde zunächst die technische Kernfunktionalität umgesetzt, indem ein einfaches Ein-/Ausgabemodell zur Prognose der Prozesskosten eines Verbindungspunktes implementiert wurde. Die Eingabe der notwendigen Parameter erfolgte vollständig manuell. Die Validierung erfolgte durch konkrete Berechnungen einzelner Verbindungspunkte. Die Prognoseergebnisse wurden in Rücksprache mit den operativen Ansprechpartnern der Fachabteilungen plausibilisiert und im Rahmen eines Statustermins durch das Koordinationsgremium bestätigt.

Für die nächste Entwicklungsstufe wurden die Vergleichbarkeit von alternativen Verbindungskonzepten sowie eine vereinfachte Eingabe der Berechnungsparameter als Kernanforderungen identifiziert. Die Implementierung einer vereinfachten Eingabe erfolgte

durch die Ergänzung zusätzlicher Kontextinformationen. Dafür wurden zum Beispiel die Teilenummern in Verbindung mit dem Bauteilgewicht und der Klassifikation des Verbindungselementes gesetzt. Während das Bauteilgewicht für die Berechnung der Logistikkosten genutzt wurde, wurde aus der Klassifikation ein empfohlenes Betriebsmittel sowie die Fertigungsdauer für die Herstellung der Verbindung abgeleitet. Gleichzeitig wurde ein Expertenmodus hinzugefügt, der eine manuelle Anpassung der automatisch abgeleiteten Parameter ermöglichte. Darüber hinaus wurde die Berechnung eines Verbindungspunktes ausgeweitet, sodass zum einen Verbindungskonzepte mit mehreren Verbindungspunkten wirtschaftlich bewertet werden konnten und zum anderen auch ein Vergleich unterschiedlicher Verbindungskonzepte ermöglicht wurde. Die Erprobung dieser Ausbaustufe erfolgte daraufhin anhand mehrerer Verbindungskonzepte eines in Entwicklung befindlichen Fahrzeugmodells. Die Berechnungsergebnisse wurden daraufhin im Rahmen der Standardisierung der Schraubtechnik sowohl auf Entwicklungsseite als auch in der Produktionsplanung verwendet. Außerdem wurde der Prototyp bereits für die Bewertung von Projekten zur Kostenreduzierung, wie zum Beispiel bei der Aggregateverschraubung, in Form von Beratungsleistungen einzelner Entwicklungsabteilungen praktisch eingesetzt. Interviews mit den Beteiligten zeigten dabei sowohl Stärken als auch Schwächen der aktuellen Umsetzungsstufe auf. Einerseits gab es ein großes Interesse an den leicht verständlichen Kosteninformationen, die auch zur Berechnung von Business Cases herangezogen werden konnten. Andererseits konnte festgestellt werden, dass eine Erläuterung der Berechnungsgrundlagen für die Akzeptanz der Methode unerlässlich ist. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass aufgrund der Vielzahl der Anforderungen an die Konstruktion eine dauerhafte selbstständige Verwendung eines zusätzlichen Kostentools die Kapazitäten der Mitarbeiter übersteigen würde. Zusätzlich stellte sich heraus, dass existierende Zielvorgaben mit dem Fokus auf Bauteilgewicht und Beschaffungskosten den Ergebnissen einer ganzheitlichen Kostenanalyse teilweise widersprechen, sodass keine eindeutigen Handlungsempfehlungen abgeleitet werden konnten.

Vor dem Hintergrund der Testergebnisse wurde in der finalen Ausbaustufe die zentrale Verwendung des Assistenzsystems durch die Normungsabteilung mit dem Ziel der Definition von Standard-Verbindungskonzepten fokussiert. Die Anforderung an die Weiterentwicklung des Prototyps war deshalb die weitgehende Automatisierung der wirtschaftlichen Bewertung vorhandener Verbindungskonzepte. Die Grundlage für die Identifizierung vorhandener Verbindungskonzepte stellten die Stücklisten diverser Fahrzeugprojekte dar. Diese wurden automatisch ausgewertet, um verbindungstechnikle relevante Stücklistenknoten zu identifizieren. Die zwischen unterschiedlichen Fahrzeugprojekten vergleichbaren Verbindungskonzepte wurden daraufhin automatisch wirtschaftlich bewertet und in einer vergleichenden Darstellung ausgegeben. Für die automatisierte Kostenprognose wurden standardisierte Rahmenbedingungen, zum Beispiel hinsichtlich des

Fertigungsstandortes, angenommen. Auf diese Weise konnten die Verbindungskonzepte ganzer Fahrzeuge wirtschaftlich bewertet und mit anderen Fahrzeugen abgeglichen werden. Die Transparenz über die Varianz vergleichbarer Verbindungskonzepte und deren wirtschaftliche Bewertung ermöglichten die Durchführung von Best-of-Benchmark-Analysen und die Unterstützung des Standardisierungsprozesses der Verbindungstechnik. So konnte bei der Stücklistenanalyse neuer Fahrzeugprojekte aufgezeigt werden, welche Verbindungskonzepte hinsichtlich der Kosten optimiert werden sollten und welche neuen Konzepte aufgrund ihrer positiven wirtschaftlichen Bewertung einen neuen Standard darstellen könnten. Der praktische Test der zusätzlichen Funktionalitäten des Prototyps anhand diverser Anwendungsfälle sowie die Vorstellung der Ergebnisse in den beteiligten Fachbereichen ergab ein positives Feedback hinsichtlich der zusätzlichen kontextorientierten Kosteninformationen. Gleichzeitig wurde insbesondere durch die Entwicklung angemerkt, dass eine Standardisierung ausschließlich auf Grundlage wirtschaftlicher Bewertungen nicht zielführend sei, da stets eine technische Analyse des Einzelfalles durchgeführt werden müsse. Darüber hinaus ist festzustellen, dass das automatisierte Handling der Variantenvielfalt innerhalb eines Fahrzeugprojektes eine zentrale Herausforderung sowohl für die technische Umsetzung als auch für das leichte Verständnis und die Akzeptanz der Ergebnisse bei den Teilnehmern darstellte.

Insgesamt konnte im Rahmen des Forschungsprojektes aufgezeigt werden, dass eine ganzheitliche Prozesskostenprognose der Verbindungstechnik zur frühzeitigen Beeinflussung von Konstruktionsentscheidungen durch eine geschäftsbereichsübergreifende Prozessanalyse und die Umsetzung der Ergebnisse in einem Assistenzsystem möglich ist. Die inkrementelle Vorgehensweise bei der Entwicklung des Softwareprototyps ermöglichte die Untersuchung verschiedener Möglichkeiten der praktischen Verwendung der Kostenprognosen sowohl in den Entwicklungsabteilungen als auch durch eine zentrale Beratungsstelle der Normung. Dabei konnte bereits der Prototyp in diversen Fallbeispielen Kostensenkungspotentiale aufzeigen und eine Beeinflussung der verwendeten Verbindungstechnik auf dieser Grundlage realisieren.

### 8.3 Diskussion der Validierungsergebnisse

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist die Erzeugung von Transparenz über die Kosten von Verbindungstechnik und eine darauf aufbauende zielgerichtete Produktbeeinflussung zum Zeitpunkt der Entwicklungsentscheidung. In diesem Kapitel soll diskutiert werden, inwiefern sich diese Zielsetzung durch Nutzung der Prozesskostenprognose in Verbindung mit einer systemseitigen Umsetzung realisieren lässt. Dafür wird vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Validierung zum einen die Methode der Prozesskostenprognose betrachtet und zum anderen geklärt, welcher Nutzen und welche Herausforderungen durch die Umsetzung eines entsprechenden Assistenzsystems entstehen.

Kapitel 7 hat aufgezeigt, dass für eine ganzheitliche Betrachtung der für die Verbindungstechnik relevanten Unternehmensprozesse eine Vielzahl einzelner Prozessanalysen notwendig ist. Entsprechend der Menge der Teilprozesse können auch diverse potenzielle Kostenfaktoren identifiziert werden, sodass eine grobe Voruntersuchung zur Fokussierung auf die zentralen Kostentreiber sinnvoll erscheint. Dabei ist jeweils eine Abwägung zwischen dem Aufwand für die Aufnahme und Pflege eines zusätzlichen Kostenfaktors und der Reduzierung der Nutzerakzeptanz und Aussagekraft der Methode aufgrund einer verminderten Prognosegenauigkeit notwendig.

Neben dem initialen Aufwand der Prozessanalyse und der Ableitung benötigter Kennzahlen ist für eine nachhaltige Nutzung der Prozesskostenprognose eine regelmäßige Prüfung der Prozesse und Aktualisierung der Kennzahlen unerlässlich. Deshalb wird die Etablierung eines Regelprozesses mit klaren Verantwortlichkeiten in den Fachbereichen sowie der Aufbau eines koordinierenden Prozessteams empfohlen.

Das beschriebene Vorgehen für die Erhebung der Kennzahlen setzt außerdem voraus, dass einerseits ausreichend Daten aktueller und vergangener Fahrzeugprojekte in den einzelnen Unternehmensbereichen vorliegen. Andererseits ist sicherzustellen, dass eine ausreichende Vergleichbarkeit dieser Projekte mit zukünftigen Entwicklungsprojekten vorhanden ist und somit die Verwendung der Daten für eine Kostenprognose zulässig ist. Die Kostenprognose neuer Technologien oder Fertigungsverfahren ist mit dieser Methode deshalb erst bei Vorliegen einer entsprechenden Datengrundlage möglich.

Das Forschungsprojekt zur Validierung der Methode hat darüber hinaus aufgezeigt, dass für die Analyse der Prozesse in den unterschiedlichen Unternehmensbereichen eine Unternehmenskultur der Transparenz und der bereichsübergreifenden Zusammenarbeit unerlässlich ist. Silodenken und ein Fokus auf lokale Optimierungen stehen dem Ansatz einer ganzheitlichen Kostenreduktion entgegen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Ableitung von Berechnungsformeln, die ausschließlich frühzeitig im Produktentstehungsprozess bekannte Parameter verwenden, eine Herausforderung bei der Umsetzung der Methodik darstellt. Ein besonderes Augenmerk ist in diesem Zusammenhang auf eine mögliche Reduzierung der Prognosegenauigkeit zu legen. Aus diesem Grund kann eine entwicklungsbegleitende Wiederholung und Plausibilisierung der Prognosen durch Verwendung detaillierterer Entwicklungsdaten eine mögliche Lösung darstellen. So wird eine größere Prognoseungenauigkeit in sehr frühen Phasen durch die mit jeder Iteration zunehmende Verlässlichkeit der Prognoseergebnisse ausgeglichen.

Das Projekt zur Validierung der Prozesskostenprognose hat verdeutlicht, dass die Umsetzung der Methode nur in Form einer bedarfsgerechten Bereitstellung der Prognoseergebnisse im Rahmen eines Assistenzsystems praktikabel ist. Ursächlich dafür ist vor allem die Komplexität des Verfahrens und die Menge der einzelnen Berechnungsschritte. Für die Umsetzung des Assistenzsystems sind zwei Ansätze zu unterscheiden.

Zum einen können die Kostenprognosen in Form einer direkten Integration in das Arbeitsumfeld der Konstrukteure dezentral bereitgestellt werden. Zum anderen kann das System auf die zentrale Verwendung durch die Normungsstelle für die zielgerichtete Standardisierung von Verbindungskonzepten und zur Durchführung von Beratungsleistungen für die Entwicklungsabteilungen ausgerichtet werden. Beide Ansätze weisen spezifische Vorteile und Herausforderungen auf, die im folgenden Abschnitt diskutiert werden.

Die dezentrale Integration des Assistenzsystems in das CAD-System aller Konstruktionsmitarbeiter ermöglicht eine effektive Produktbeeinflussung durch die direkte Bereitstellung der Kostenprognosen für die Entscheidungsträger. Insbesondere eine interaktive Einbindung, die durch eine Echtzeitanalyse von Änderungen im CAD-Modell ein direktes Feedback der Kostenänderungen ermöglicht, führt zu einer verbesserten Akzeptanz und die Nutzung des Systems. Gleichzeitig kann die notwendige technische Bewertung alternativer Verbindungskonzepte direkt durch den verantwortlichen Experten für das betreffende Modul durchgeführt werden.

Die dezentrale Implementierung führt, aufgrund der großen Anzahl der Nutzer, allerdings zu erheblichen Aufwänden bei der Entwicklung, dem Rollout und dem Betrieb des IT-Systems. Dabei ist zunächst die Fragestellung der Zielgruppe zu klären. Ein nicht unerheblicher Anteil der Entwicklungsleistungen für neue Fahrzeugprojekte wird heutzutage an externe Partnerfirmen vergeben. Gleichzeitig stellen Kostenprognosen sensible Daten dar, die vertraulich zu behandeln sind. Deshalb ist die Verwendung des Systems entweder auf interne Konstrukteure zu beschränken oder ein Partnerfirmenkonzept notwendig, dass beispielsweise nur die Bereitstellung relativierter Kostenprognosen umfasst. Darüber hinaus sind für eine verbesserte Akzeptanz der Nutzer insbesondere während des Rollouts, aber auch für einen nachhaltigen Betrieb, sowohl ein Schulungskonzept zu implementieren als auch Key-User zu identifizieren, die eine fachbereichsseitige Schnittstellenfunktion zwischen Anwender und IT darstellen. Hinsichtlich des Entwicklungsaufwandes ist festzuhalten, dass die Integration in das CAD-System mit einer automatischen Identifikation aller Verbindungsparameter und der Ausgabe der Kostenprognosen in Echtzeit ein potenziell kostenintensives Entwicklungsprojekt erfordert. Dabei ist fachbereichsseitig sicherzustellen, dass eine Arbeitsmethodik etabliert ist, die eine automatische Identifizierung der Verbindungsparameter überhaupt ermöglicht. Außerdem muss für das bereits beschriebene Prozessteam eine Konfiguration aktualisierter Kennzahlen und veränderter Berechnungsformeln vorgesehen werden, sodass trotz des dezentralen Ansatzes der Prognoseausgabe eine zentralisierte Pflege der Eingangsparameter ermöglicht wird.

Schließlich hat das Forschungsprojekt aufgezeigt, dass eine nachhaltige Verwendung der Kostenprognosen nur sichergestellt werden kann, wenn dazu konsistente Zielvorga-

ben für die Entwicklungsabteilungen existieren. So steht die Fokussierung der Zielvorgaben auf Bauteilgewichte und Beschaffungskosten im Widerspruch zu einem ganzheitlichen Kostenverständnis.

Die zentrale Verwendung des Assistenzsystems durch die Normungsstelle kann eine Alternative zu dem dezentralen Ansatz darstellen. In diesem Fall wird die Prozesskostenprognose für eine indirekte Produktbeeinflussung durch die Definition von Standard-Verbindungskonzepten genutzt.

Die durch Variantenvielfalt induzierte Komplexität in diversen Unternehmensprozessen führt zu erheblichen Kosten, sodass das Variantenmanagement einen zunehmenden Erfolgsfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit in der Automobilindustrie darstellt [BAY10]. Neben der Kostentransparenz ist ein wesentlicher Vorteil der Standardisierung von Verbindungskonzepten deshalb die gleichzeitige Reduzierung von Komplexität, die durch die Vielfalt von Bauteilvarianten und Verbindungsparametern entsteht. Die Normungsstelle erhält durch die automatisierte Analyse vorhandener Stücklisten zum einen eine Übersicht über bestehende Verbindungskonzeptalternativen eines Moduls und verfügt zum anderen durch die wirtschaftliche Bewertung dieser Alternativen über die notwendige Kostentransparenz zur Durchführung von Standardisierungsmaßnahmen. Dieser Ansatz stellt eine Weiterentwicklung der klassischen Variantenreduzierung auf Basis von Teilenummern dar und erfordert deshalb die Bereitschaft für eine Anpassung etablierter Arbeitsprozesse.

Durch die Berücksichtigung von Fertigungsprozessparametern in den Verbindungskonzepten ist der zentralisierte Ansatz insbesondere für die Produktionsplanung vorteilhaft, da auf diese Weise auch die Vielfalt der Tätigkeiten an der Montagelinie reduziert werden kann und ein frühzeitiger Beginn der Detailplanung neuer Fahrzeugprojekte ermöglicht wird.

Weiterhin ergeben sich auch für die IT-seitige Umsetzung des Assistenzsystems positive Effekte. Die Beschränkung auf ein Expertensystem mit wenigen Nutzern reduziert den Aufwand für Anforderungsanalyse, Rollout und Schulungen. Nachteilig zu bewerten ist allerdings der zusätzliche Entwicklungsaufwand aufgrund der notwendigen Analyse der Stücklisten. Allerdings entfällt die Notwendigkeit eines zusätzlichen Prozessteams, da sich eine Verbindung von Systempflege und -nutzung durch die Key-User der Normungsstelle anbietet.

Im Rahmen der Standardisierung der Verbindungskonzepte ist sicherzustellen, dass neben der wirtschaftlichen Bewertung durch das Assistenzsystem auch eine technische Bewertung durch die verantwortliche Konstruktionsabteilung durchgeführt wird, da die Normungsstelle in der Regel nicht über alle technischen Informationen bezüglich des angestrebten Einsatzes des Verbindungskonzeptes in unterschiedlichen Fahrzeugprojekten verfügt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass jede Form der Standardisierung die Kreativität und den Anreiz für die Entwicklung neuartiger Lösungen reduziert.

Die Akzeptanz der Mitarbeiter in den Entwicklungsabteilungen ist deshalb sowohl vom Grad der Standardisierung als auch von intensiven Beratungen und Erläuterungen der Methode abhängig. Zusätzlich kann eine hohe Durchdringung der Verwendung standardisierter Verbindungskonzepte auch durch ein klares Bekenntnis seitens des Managements unterstützt werden.

Insgesamt hat das Forschungsprojekt aufgezeigt, dass die Methode der Prozesskostenprognose zur frühzeitigen Bereitstellung von Kostenprognosen in der Verbindungstechnik für eine operative Umsetzung bei einem Automobilhersteller geeignet ist. Dabei ermöglicht die geschäftsbereichsübergreifende Kostentransparenz eine Erweiterung der hauptsächlich auf die Beschaffungskosten fokussierten Entscheidungsprozesse und Zielvorgaben. Es konnte gezeigt werden, dass bereits die Implementierung einer prototypischen Umsetzung der Methodik im Rahmen eines Assistenzsystems zu einer erhöhten Kostentransparenz und zur Realisierung von Kosteneinsparungen führt. Gleichzeitig hat das Forschungsprojekt verdeutlicht, dass die Einführung und nachhaltige Nutzung der Prozesskostenprognose mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Zum einen ist ein Team für die Erfassung der Prozesse, die Ermittlung von Kostentreibern und Kennzahlen sowie die Ableitung der Kostenprognosefunktionen notwendig. Zum anderen erfordert die Entwicklung und der Betrieb eines Assistenzsystems zur automatisierten Berechnung und bedarfsgerechten Bereitstellung der Kostenprognosen entsprechende finanzielle Mittel, sodass die Abwägung eines Kosten-Nutzen-Verhältnisses grundsätzlich notwendig ist.

## 9 Schlussbetrachtung

Die zunehmenden Kundenanforderungen und der starke Wettbewerbsdruck führen zu Differenzierungsbestrebungen der Automobilhersteller und dadurch zu einer größeren Vielfalt an Modellen und Ausstattungsvarianten. Der Entwicklungs- und Produktionsaufwand für die zusätzlichen Bauteile und Module wird zunehmend an Lieferanten ausgelagert, sodass bei den Automobilherstellern eine Konzentration auf die Kernkompetenzen stattfindet. Diese fokussiert sich auf die marken- und produktbestimmenden Merkmale sowie auf die Gesamtfahrzeugintegration, die insbesondere durch das Fügen der Komponenten im Karosseriebau und der Montage realisiert wird. Gleichzeitig kann die angestrebte Rendite der Automobilhersteller aufgrund einer erhöhten Preissensibilität der Kunden nur durch ein zielgerichtetes Kostenmanagement sichergestellt werden. Dabei ist die zeitliche Differenz zwischen Kostenfestlegung und Kostenentstehung im Produktlebenszyklus zu berücksichtigen, sodass eine erfolgreiche Beeinflussung von Kosten nur durch eine frühzeitige Kostentransparenz im Produktentstehungsprozess ermöglicht wird. Deshalb wurde in dieser Arbeit ein Vorgehensmodell entwickelt und validiert, dass eine frühzeitige und bedarfsgerechte Bereitstellung von lebensphasenübergreifenden Kostenprognosen der Verbindungstechnik ermöglicht.

Die Grundlage für die Entwicklung des Vorgehensmodells war eine mikroökonomische Analyse des Zusammenspiels von Kundenpräferenzen, Produktnutzen, Zahlungsbereitschaft, dem Einsatz von Produktionsfaktoren und der Interaktion zwischen Herstellern und Kunden auf dem Markt, die zu einer Ableitung von Anforderungen an die weitere Betrachtung geführt hat.

Die Darstellung der charakteristischen Merkmale der Verbindungstechnik sowie die Erläuterung hersteller- und kundenspezifischer Anforderungen an Verbindungen im Automobil haben erste Hinweise auf relevante Kostentreiber bei der Herstellung von Verbindungen gegeben und die Rahmenbedingungen bei der Auswahl geeigneter Technologien im Karosseriebau und in der Montage verdeutlicht.

Darauf aufbauend hat die Betrachtung des Produktentstehungsprozesses aufgezeigt, welche Arbeitsergebnisse zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Planung und Entwicklung neuer Fahrzeugmodelle vorliegen, sodass in Abhängigkeit des Informationsbedarfs bei der Durchführung von Kostenprognosen und der Notwendigkeit einer frühzeitigen Kostenbeeinflussung ein geeigneter Zeitraum für die bedarfsgerechte Bereitstellung der Prognoseergebnisse abgeleitet werden konnte.

Das aus der Kostenrechnung hervorgegangene Kostenmanagement umfasst diverse Methoden zur frühzeitigen, systematischen Beeinflussung der Kosten von Produkten, Ressourcen und Prozessen. Die Analyse der wichtigsten Methoden hat aufgezeigt, dass die Kombination von Ansätzen der Prozesskostenrechnung, der Lebenszyklusrechnung



sowie Methoden zur entwicklungsbegleitenden Kalkulation zu einem geeigneten Vorgehensmodell für die lebensphasenübergreifende, prozessabhängige und frühzeitige Ermittlung von Kostenprognosen der Verbindungstechnik im Automobilbau führt. Das so abgeleitete Vorgehensmodell wurde daraufhin als Prozesskostenprognose bezeichnet.

Im Rahmen der Detaillierung der Prozesskostenprognose konnte die konkrete Untersuchung der Entwicklungs- und Fertigungsprozesse zum einen die Vielzahl der verbindungstechnikrelevanten Unternehmensprozesse verdeutlichen und zum anderen die Ableitung von Kostentreibern und Kostenprognosefunktionen auf Basis von Prozessanalysen aufzeigen. In Abhängigkeit der betrachteten Lebensphasen, des gewünschten Detaillierungsgrades sowie der zur Verfügung stehenden Informationen ist eine Priorisierung der betrachteten Prozesse zielführend. Darüber hinaus sind die Entwicklung und Implementierung eines Assistenzsystems vor dem Hintergrund der umfangreichen Datenauswertungen und Berechnungen notwendig. Der Digitalisierungsgrad der beteiligten Unternehmensbereiche und die Möglichkeit der Datenbereitstellung über standardisierte Schnittstellen bestimmen in diesem Zusammenhang den Umsetzungsaufwand für die Entwicklung des Assistenzsystems.

Die Validierung der Prozesskostenprognose im Rahmen eines Forschungsprojektes bei einem Automobilhersteller hat gezeigt, dass die Umsetzung eines Assistenzsystems sowohl dezentral in den einzelnen Entwicklungsabteilungen als auch zentral zur Unterstützung von verbindungstechnikbezogenen Standardisierungsmaßnahmen möglich ist. Die zentrale Umsetzung in der Entwicklungsumgebung des Konstrukteurs ermöglicht dabei ein direktes Feedback über die Folgekosten jeder Entscheidung, führt jedoch zu höheren Kosten für Entwicklung, Rollout und Betrieb des Assistenzsystems sowie zu einem hohen Schulungsbedarf. Die dezentrale Implementierung der Prozesskostenprognose als Expertensystem für ein dediziertes Standardisierungsteam ermöglicht hingegen durch die fahrzeugprojektübergreifende Standardisierung von Verbindungskonzepten eine indirekte Beeinflussung der Kosten. Dadurch sind insbesondere bei der Herstellung von unterschiedlichen Fahrzeugmodellen auf einer Produktionslinie Potentiale zur Kosten- und Komplexitätsreduzierung realisierbar. Allerdings besteht das Risiko einer verminderten Akzeptanz in den Konstruktionsabteilungen. Geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise zusätzliche Beratung der Entscheidungsträger, können diesem Risiko entgegenwirken.

Die Methode der Prozesskostenprognose bietet somit das Potential für eine ganzheitliche, frühzeitige und zielgerichtete Beeinflussung der Kostenentstehung in den betrachteten Lebensphasen. Dabei ermöglicht die geschäftsbereichsübergreifende Kostentransparenz eine Erweiterung der hauptsächlich auf die Beschaffungskosten fokussierten Entscheidungsprozesse und Zielvorgaben. Gleichzeitig fördert die Prozesskostenprognose das Bewusstsein der Mitarbeiter für die Notwendigkeit unternehmerischen

Handelns auf operativer Ebene und bietet die Möglichkeiten der wertneutralen Abwägung unterschiedlicher Lösungsalternativen auf Grundlage von Kosteninformationen. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Einführung und nachhaltigen Implementierung der Prozesskostenprognose im Unternehmen wird dabei insbesondere vom bereits vorhandenen Digitalisierungsgrad in den beteiligten Bereichen bestimmt.

Insgesamt kann die Prozesskostenprognose unter Berücksichtigung der verbindungs-technikspezifischen Prozesse und unter Nutzung der digital vorhandenen Daten in den einzelnen Unternehmensbereichen einen Beitrag zur Renditesicherung von Automobilherstellern durch eine lebensphasenübergreifende, frühzeitige Kostenbeeinflussung liefern.

## 9.1 Ausblick

Ein hoher Digitalisierungsgrad im Unternehmen unterstützt die Einführung und nachhaltige Implementierung der Prozesskostenprognose im Unternehmen. Gleichzeitig bietet insbesondere die Umsetzung der Prozesskostenprognose in Form einer indirekten Kostenbeeinflussung durch standardisierte Verbindungskonzepte das Potential einer weiteren Digitalisierung des Produktentstehungsprozesses der Verbindungstechnik.

Eine modul- und baureihenabhängige Definition von Standardverbindungskonzepten kann den Anteil nicht kreativer Tätigkeiten in der Entwicklung senken. So reduziert ein Vorschlagswesen den Aufwand bei der Lösungssuche, während die automatisierte Platzierung der Geometrielemente des gewählten Verbindungskonzeptes die Zeit für die Erstellung des CAD-Modells vermindert. Darüber hinaus kann eine darauf aufbauende automatische Pflege der datenhaltenden PDM- und Stücklistensysteme eine vorgezogene Durchführung nachfolgender Prozesse ermöglichen. Die Produktionsplanung wäre dadurch in der Lage, zu einem früheren Zeitpunkt und mit höherer Zuverlässigkeit die Arbeitsablauf- und Arbeitsmittelplanung durchzuführen. Gleichzeitig könnte der Prototypenbau im frühen Stadium der Entwicklung bei unvollständigen Informationen zunächst Standardverbindungskonzepte einsetzen. Die Standardisierung von Verbindungskonzepten durch Nutzung ganzheitlicher Kosteninformationen eröffnet deshalb unterschiedliche Möglichkeiten der weiteren Forschung.

Ein Aspekt aufbauender Forschungstätigkeiten ist die Transformation der Standardisierungsmaßnahmen von einer bauteilzentrierten Sichtweise zu einer verwendungsstellen-spezifischen Vereinheitlichung aller maßgeblichen Parameter. Auf diese Weise könnten die physischen Schnittstellen zwischen den einzelnen Fahrzeugmodulen ganzheitlich betrachtet und deren Komplexität sowohl mit Blick auf die Teilevielfalt als auch hinsichtlich unterschiedlicher Fertigungsparameter reduziert werden.

Ein weiterer Forschungsansatz besteht bei Gewichtung und Priorisierung von Anforderungen an die Verbindungstechnik. Auftretende Zielkonflikte zwischen Anforderungen des Vertriebs, der Entwicklung, der Qualitätssicherung und der Fertigung könnten durch

die Darstellung ganzheitlicher Kostenprognosen wirtschaftlich verglichen und gelöst werden.

Eine zentrale Hürde bei der Einführung der Methodik ist die Sammlung, Strukturierung und Analyse von Daten aus allen Unternehmensbereichen, die für die Prognose der Kosten notwendig sind. Die Reduzierung dieses Aufwands kann durch die Integration der Forschungsfelder Big-Data-Analytics und künstliche Intelligenz ermöglicht werden. So können bestehende Data-Warehouses oder Data-Lakes auf entsprechende Muster hinsichtlich möglicher Kostenauswirkungen automatisiert untersucht oder Daten von digitalen Zwillingen notwendiger Fertigungsanlagen bezüglich anfallender Fertigungs- und Logistikkosten analysiert werden.

Darüber hinaus wurde die Prozesskostenprognose bisher nur im Kontext der Verbindungstechnik betrachtet. Grundsätzlich ist das Vorgehen allerdings auch auf andere Bauteilkategorien oder vollständige Produkte übertragbar. Dafür wäre eine Verallgemeinerung des in dieser Arbeit dargestellten Konzeptes notwendig. In diesem Zusammenhang sind die bereits bei der Lebenszyklusrechnung erläuterten Ausprägungsmöglichkeiten relevanter Merkmale zu spezifizieren. Dazu zählen die Verwendung von Teil- oder Vollkostenrechnung, die Frage der Abzinsung sowie die Form der Ergebnisdarstellung.

Weiterhin wurde im Rahmen der Validierung der Prozesskostenrechnung eine prototypische Umsetzung eines Assistenzsystems mit dem Fokus auf ein Expertensystem realisiert. Insbesondere bei der dezentralen Implementierung in Form eines Rollouts in allen Entwicklungsabteilungen ist zu erwarten, dass die Akzeptanz des Systems direkt mit dem Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Prognoseergebnisse in Verbindung steht. Deshalb ist hinsichtlich einer dezentralen Bereitstellung der Kostenprognosen ein geeignetes Schulungs- und Rolloutkonzept zu entwerfen, das insbesondere die Tatsache der von Natur aus ungenauen Prognoseergebnisse berücksichtigt.



---

## Literaturverzeichnis

- AHL90 AHLERT, Dieter (Hrsg.); VORMBAUM, Herbert (Mitarb.): *Finanz- und Rechnungswesen als Führungsinstrument*. Wiesbaden: Gabler, 1990
- AIE07 AIER, Stephan; SCHÖNHERR, Marten: *Enterprise application integration : Flexibilisierung komplexer Unternehmensarchitekturen.*: GITO mbH Verlag, 2007
- AX08 AX, Christian; GREVE, Jan; NILSSON, Ulf: *The impact of competition and uncertainty on the adoption of target costing*. In: *International Journal of Production Economics* 115 (2008), Nr. 1, S. 92–103
- BAC92 BACK-HOCK, Andrea: Produktlebenszyklusorientierte Ergebnisrechnung. In: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Handbuch Kostenrechnung*. Wiesbaden : Gabler, 1992, S. 703–714
- BAU13 BAUER, Andreas; GÜNZEL, Holger: *Data-Warehouse-Systeme : Architektur, Entwicklung, Anwendung*. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag, 2013
- BAU91 BAUER, Carl-Otto (Hrsg.): *Handbuch der Verbindungstechnik*. München, Wien: C. Hanser, 1991
- BAY10 BAYER, Tobias: *Integriertes Variantenmanagement : Variantenkostenbewertung mit faktorenanalytischen Komplexitätstreibern*. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2010. 1. Aufl. München: Hampp, 2010 (Schriften zu Management, Organisation und Information 25)
- BEC97 BECKER, Jörg: DV-Verfahren zur Unterstützung frühzeitiger Kosteneinschätzungen. In: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Frühzeitiges Kostenmanagement*. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 181–190
- BEN16 BENDER, Beate; GERICKE, Kilian: Prozesse der Produktentwicklung. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016, S. 399–424
- BEN21 BENDER, Beate (Hrsg.); GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021
- BER95 BERKAU, Carsten: *Vernetztes Prozeßkostenmanagement : Konzeption und Realisierung mit einem Blackboardsystem*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1995 (Schriften zur EDV-Orientierten Betriebswirtschaft)
- BEU10 BEUTEL, Jörg: *Mikroökonomie*. München: Oldenbourg, 2010

- BIN98 BINDER, Markus: *Produktkostenmanagement in Entwicklung und Konstruktion*. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag, 1998 (Gabler Edition Wissenschaft, Forschungs- / Entwicklungs-/Innovations-Management)
- BLE09 BLESSING, Lucienne T. M.; CHAKRABARTI, Amaresh: *DRM, a design research methodology*. Dordrecht, Heidelberg: Springer, 2009
- BOR16 BORNSCHLEGL, Martin; BREGULLA, Markus; FRANKE, Jörg: *Methods-Energy Measurement – An approach for sustainable energy planning of manufacturing technologies*. In: *Journal of Cleaner Production* 135 (2016), S. 644–656
- BRA13 BRAESS, Hans-Hermann (Hrsg.); SEIFFERT, Ulrich (Hrsg.): *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. 7., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2013 (ATZ / MTZ-Fachbuch)
- BRE15 BREYER, Friedrich: *Mikroökonomik : Eine Einführung*. 6., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer Gabler, 2015 (Springer-Lehrbuch)
- BRI90 BRINKER, Barry J.: *Emerging practices in cost management: Warren, Gorham & Lamont*, 1990
- BRI10 BRITZKE, Bernd: *MTM in einer globalisierten Wirtschaft : Arbeitsprozesse systematisch gestalten und optimieren*. 1. Aufl. München: mi-Wirtschaftsbuch. FinanzBuch-Verl., 2010
- BRO10 BROCKMEYER, Henrich: *Rechnergestützte Methoden zur frühzeitigen Produktbeeinflussung und Produktabsicherung im Karosseriebau*. Zugl.: Hamburg, Helmut-Schmidt-Univ., Diss., 2010. Aachen: Shaker, 2010 (Berichte aus dem Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik 17)
- BRO98 BRONNER, Albert: *Angebots- und Projektkalkulation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998
- BRÜ19 BRÜCKNER, Claudia; BOPP, Reinhold; KRAUSS, Frank: *Qualitätsmanagement : Das Praxishandbuch für die Automobilindustrie*. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2019
- CLE18 CLERMONT, Marcel; AHN, Heinz; SCHWETSCHKE, Stephan: *Research on target costing: past, present and future* (2018)
- COE94 COENENBERG, A. G.; FISCHER, T.; SCHMITZ, J.: *Target Costing und Product Life Costing als Instrumente des Kostenmanagements*. In: *Zeitschrift für Planung* (1994), Nr. 5, S. 1–38
- COO91 COOPER, Robin; KAPLAN, Robert S.: *The design of cost management systems : Text, cases, and readings*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991 (The Robert S. Kaplan series in management accounting)

- COO99 COOPER, Robin; SLAGMULDER, Regine: *Develop Profitable New Products with Target Costing*. In: *Sloan Management Review* (1999), Nr. 40, S. 23
- CRE90 CREESE, R. C.; MOORE, T.: *Cost Modeling for Concurrent Engineering*. In: *Cost Engineering* (1990), Nr. 32, S. 23–27
- DAH14 DAHMEN, Andreas: *Kostenrechnung*. 4., vollständig überarb. Aufl. München: Vahlen, 2014 (Vahlers Kurzlehrbücher)
- DIN11a DIN 7338:2011-03: *Niete für Brems- und Kupplungsbeläge*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- DIN03a DIN 8580:2003-09: *Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- DIN03b DIN 8593-0:2003-09: *Fertigungsverfahren Fügen - Teil 0: Allgemeines*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- DIN14 DIN EN 60300-3-3: *Zuverlässigkeitsmanagement\_ - Teil\_3-3: Anwendungsleitfaden\_ - Lebenszykluskosten (IEC\_56/1549/CD:2014)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- DIN11b DIN EN ISO 14579:2011-06: *Zylinderschrauben mit Innensechsrund (ISO\_14579:2011)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- DIX98 DIXIUS, Dieter: *Simultane Projektorganisation : Ein Leitfaden für die Projektarbeit im Simultaneous Engineering*. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg, 1998
- DÖR76 DÖRNER, Dietrich: *Problemlösen als Informationsverarbeitung*: Kohlhammer, 1976
- DUF95 DUFFY, Alex; ANDREASEN, Mogens: *Enhancing the evolution of design science*. In: *Proceedings of ICED* (1995), Nr. 95, S. 29–35
- EHR14 EHRENSPIEL, Klaus; KIEWERT, Alfons; LINDEMANN, Udo: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren : Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*. 7. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2014 (VDI-Buch)
- EHR17 EHRENSPIEL, Klaus; MEERKAMM, Harald: *Integrierte Produktentwicklung : Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017
- EVE06 EVERAERT, Patricia; LOOSVELD, Stijn; VAN ACKER, Tom; SCHOLLIER, Marijke; SARENS, Gerrit: *Characteristics of target costing: theoretical and field study perspectives*. In: *Qualitative Research in Accounting & Management* 3 (2006), Nr. 3, S. 236–263

- EVE89 EVERSHEIM, Walter: *Organisation in der Produktionstechnik : Fertigung und Montage*. 2., Neubearb. und erw. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verl., 1989 (Studium und Praxis / Walter Eversheim ; Bd. 4)
- EVE02 EVERSHEIM, Walter: *Organisation in der Produktionstechnik : Arbeitsvorbereitung*. 4., bearb. und korrigierte Aufl. Berlin: Springer, 2002
- EVE03 EVERSHEIM, Walter: *Innovationsmanagement für technische Produkte*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003 (VDI-Buch)
- FAR21 FARSI, Maryam; ARIANSYAH, Dedy; ERKOYUNCU, John Ahmet; HARRISON, Andrew: *A digital twin architecture for effective product lifecycle cost estimation*. In: *Procedia CIRP* 100 (2021), S. 506–511
- FEL16 FELDHUSEN, Jörg: Funktionsmodellierung. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016
- FEL21 FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich: Qualitätssicherung in der Produktentwicklung und Konstruktion. In: BENDER, Beate; GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 883–904
- FIS08 FISCHER, Jan O.: *Kostenbewusstes Konstruieren : Praxisbewährte Methoden und Informationssysteme für den Konstruktionsprozess*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- FRA97 FRANZ, Klaus-Peter (Hrsg.); KAJÜTER, Peter (Hrsg.): *Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997 (USW-Schriften für Führungskräfte 33)
- FRE18 FREIKNECHT, Jonas; PAPP, Stefan: *Big Data in der Praxis : Lösungen mit Hadoop, Spark, HBase und Hive. Daten speichern, aufbereiten, visualisieren*. 2., erweiterte Auflage. München: Hanser, 2018
- FRÖ90 FRÖHLING, Oliver; SPILKER, Dirk: *Life Cycle Costing*. In: *io Management Zeitschrift* 59 (1990), Nr. 10, S. 74–78
- GAU16a GAUSEMEIER, Jürgen; ECHTERFELD, Julian; AMSHOFF, Benjamin: Strategische Produkt- und Prozessplanung. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016, S. 9–36
- GAU16b GAUSEMEIER, Jürgen; OVTCHAROVA, Jivka; AMSHOFF, Benjamin; ECKELT, Daniel; ELSTERMANN, Matthes; PLACZEK, Markus; WIEDERKEHR, Olga: *Strategische Produktplanung : adaptierbare Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge für die Planung der Marktleistungen von morgen*. 2016
- GAU14 GAUSEMEIER, Jürgen; PLASS, Christoph: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung : Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. 2., überarbeitete Auflage. München: Hanser, 2014



- GER16 GERHARD, Detlef: Daten- und Informationsmanagement PDM/PLM. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016, S. 215–247
- GER21a GERICKE, Kilian; BENDER, Beate; PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich: Der Produktentwicklungsprozess. In: BENDER, Beate; GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 57–96
- GER21b GERICKE, Kilian; BENDER, Beate; PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich: Grundlagen methodischen Vorgehens in der Produktentwicklung. In: BENDER, Beate; GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 27–56
- GER12 GERICKE, Kilian; BLESSING, Lucienne: *An analysis of design process models across disciplines*, 2012
- GÖT08 GÖTZE, Uwe; LINKE, Constanze: *Interne Unternehmensrechnung als Instrument des marktorientierten Zielkostenmanagements – ausgewählte Probleme und Lösungsansätze*. In: *Zeitschrift für Planung & Unternehmenssteuerung* 19 (2008), Nr. 1, S. 107–132
- GÜN97 GÜNTHER, Thomas: Neuentwicklungen der Kostenrechnung : Eine Antwort auf geänderte Fragestellungen. In: FREIDANK, Carl-Christian; GÖTZE, Uwe; HUCH, Burkhard (Hrsg.): *Kostenmanagement : Aktuelle Konzepte und Anwendungen*. Berlin : Springer, 1997
- HAN88 HANSEN, H. R.; KRALLMANN, H.; MERTENS, P.; SCHEER, A.-W.; SEIBT, D.; STAHLKNECHT, P.; STRUNZ, H.; THOME, R.; BACK-HOCK, Andrea: *Lebenszyklusorientiertes Produktcontrolling*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1988 (34)
- HAS06 HASSELBRING, Wilhelm: *Software-Architektur*. In: *Informatik-Spektrum* 29 (2006), Nr. 1, S. 48–52
- HEI95 HEINE, Andreas: *Entwicklungsbegleitendes Produktkostenmanagement : Gestaltung des Führungssystems am Beispiel der Automobilindustrie*. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag, 1995
- HER05 HEROLD, Lothar: *Kundenorientierte Prozesssteuerung in der Automobilindustrie : Die Rolle von Logistik und Logistikcontrolling im Prozess „vom Kunden bis zum Kunden“*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2005

- HER13 HERRMANN, Andreas; HUBER, Frank: *Produktmanagement : Grundlagen - Methoden - Beispiele*. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, 2013
- HER10 HERRMANN, Christoph: *Ganzheitliches Life Cycle Management : Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen*. Berlin: Springer, 2010 (VDI-Buch)
- HIL86 HILLEBRAND, A.; EHRENSPIEL, K.: *Suchkalkulation-ein Hilfsmittel zum kostengünstigen Konstruieren*. In: HILLEBRAND, A.; EHRENSPIEL, K. *Suchkalkulation-ein Hilfsmittel zum kostengünstigen Konstruieren*. CAD-CAM Report 1 (1986), S. 53–57
- HOF77 HOFSTÄTTER, Horst; GERTH, Ernst: *Die Erfassung der langfristigen Absatzmöglichkeiten mit Hilfe des Lebenszyklus eines Produktes*. Würzburg: Physica-Verl., 1977 (Modernes Marketing Die Marketingstrategie der Unternehmung ; Teil 2)
- HÖF92 HÖFT, Uwe: *Lebenszykluskonzepte : Grundlage für das strategische Marketing- und Technologiemanagement ; \*Marketingmanagement*. Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss. Berlin: Schmidt, 1992 (Technological economics 46)
- HÖH08 HÖHN, Reinhard; HÖPPNER, Stephan; RAUSCH, Andreas: *Das V-Modell XT : Anwendungen, Werkzeuge, Standards*. Berlin: Springer, 2008 (eXamen.press)
- HOL04 HOLWEG, Matthias; PIL, Frits K.: *The second century : Reconnecting customer and value chain through build-to-order ; moving beyond mass and lean production in the auto industry*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2004
- HOR97 HORVATH, Peter; GLEICH, Ronald; SCHOLL, Kai: Vergleichende Betrachtung der bekanntesten Kalkulationsmethoden für das kostengünstige Konstruieren. In: MÄNNEL, Wolfgang (Hrsg.): *Frühzeitiges Kostenmanagement*. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1997, S. 111–132
- HOR89 HORVÁTH, Péter; MAYER, Reinhold: *Prozesskostenrechnung – Der neue Weg zu mehr Kostentransparenz und wirkungsvolleren Unternehmensstrategien*. In: *Controlling* (1989), Nr. 4, S. 214–219
- HÜT08 HÜTTENRAUCH, Mathias; BAUM, Markus: *Effiziente Vielfalt : Die dritte Revolution in der Automobilindustrie*. Berlin: Springer, 2008
- INT04 INTVEEN, Carsten: *Unternehmensstrategien internationaler Automobilhersteller : Auswirkungen verkehrspolitischen Engagements auf die Gesamtunternehmensebene*. Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag, 2004 (Wirtschaftswissenschaft)

- JOH87     JOHNSON, H. Thomas; KAPLAN, Robert S.: *Relevance lost : The rise and fall of management accounting*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1987
- JOO14     JOOS-SACHSE, Thomas: *Controlling, Kostenrechnung und Kostenmanagement : Grundlagen, Anwendungen, Instrumente*. 5., [neu gestaltete und erw.] Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014 (Springer Gabler Lehrbuch)
- KAH16     KAHNEMAN, Daniel: *Schnelles Denken, langsames Denken*. München: Penguin Verlag, 2016
- KAN84     KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S.: *Attractive quality and must-be quality*. In: *Hinshitsu (Quality, the Journal of Japanese Society for Quality Control)* 14 (1984), S. 39–48
- KEM99     KEMMINER, Jörg: *Lebenszyklusorientiertes Kosten- und Erlösmanagement*. Zugl.: Duisburg, Univ., Diss., 1999. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 1999 (Gabler Edition Wissenschaft : Markt- und Unternehmensentwicklung)
- KER16     KERBER, Sebastian: *Prozessgestaltung zum Einsatz digitaler Fabrikgesamtm Modelle : Anwendung in der Produktionsplanung eines Automobilherstellers*, 2016 (AutoUni-Schriftenreihe)
- KLU10     KLUG, Florian: *Logistikmanagement in der Automobilindustrie : Grundlagen der Logistik im Automobilbau*. Berlin: Springer, 2010 (VDI-Buch)
- KOL85     KOLLER, Rudolf: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau : Grundlagen des methodischen Konstruierens*. 2., völlig Neubearb. und erw. Aufl. Berlin: Springer, 1985
- KÖN95     KÖNIG, Thomas: *Konstruktionsbegleitende Kalkulation auf der Basis von Ähnlichkeitsvergleichen*. Zugl.: Münster (Westfalen), Univ., Diss., 1994. Bergisch Gladbach: Eul, 1995 (Reihe 59)
- KOR02     KORTMANN, Walter: *Mikroökonomik : Anwendungsbezogene Grundlagen*. Dritte, durchgesehene Auflage. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2002 (Physica-Lehrbuch)
- KRA87     KRAMER, Friedhelm: *Innovative Produktpolitik : Strategie - Planung - Entwicklung - Durchsetzung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1987
- KRE21     KREIMEYER, Matthias; SEIDENSCHWARZ, Werner; REHFELD, Matthias: *Produktplanung*. In: BENDER, Beate; GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 97–136

- KRO09 KROPIK, Markus: *Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009
- LIN16 LINDEMANN, Udo: Kreativität in der Produktentwicklung. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016, S. 743–758
- LÖH77 LÖHR, Hans-Günter: *Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 1976. Mainz: Krausskopf, 1977 (Forschung und Praxis)
- LOT12 LOTTER, Bruno (Hrsg.); WIENDAHL, Hans-Peter (Hrsg.): *Montage in der industriellen Produktion : Ein Handbuch für die Praxis*. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012 (VDI-Buch)
- LUC12 LUCKO, Andreas: *Ein Beitrag zur Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Karosserieentwicklung und Produktionsplanung*. Zugl.: Hamburg, Helmut-Schmidt-Univ., Diss., 2012. Aachen: Shaker, 2012 (Berichte aus dem Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik, Helmut Schmidt Universität 22)
- LUF16 LUFT, Thomas; CARDINAL, Julie LE; WARTZACK, Sandro: Methoden der Entscheidungsfindung. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016, S. 759–804
- MAS43 MASLOW, A. H.: *A theory of human motivation*. In: *Psychological Review* 50 (1943), Nr. 4, S. 370–396
- MAT05 MATEIKA, Marc: *Unterstützung der lebenszyklusorientierten Produktplanung am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus*. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2005. Essen: Vulkan-Verl., 2005 (Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig)
- MEI02 MEIER, Markus: *Auswählen und bewerten, the key to innovation*. 2002
- MIC89 MICHAELS, Jack V.; WOOD, William P.: *Design to cost*. New York: Wiley, 1989 (A Wiley-Interscience publication)
- MUL18 MULLER, Andreas; KETTELHANN, Pascal; MULLER, Oliver; BORNSCHLEGL, Martin; MANTWILL, Frank: Digital Planning of Complex Production Systems Based on Life-Cycle Costs. In: *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society : Omni Shoreham Hotel, Washington D.C., United States of America, 20 - 23 October, 2018*. Piscataway, NJ : IEEE, 2018, S. 3033–3038
- ÖNO93 ŌNO, Taiichi: *Das Toyota-Produktionssystem*. Frankfurt/Main, New York: Campus-Verl., 1993

- PAH21 PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang: Gestaltungsprinzipien. In: BENDER, Beate; GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 525–566
- PFE21 PFEIFER, Tilo; SCHMITT, Robert: *Masing Handbuch Qualitätsmanagement*. 7. Aufl. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2021 (Hanser eLibrary)
- PFE74 PFEIFFER, Werner; BISCHOF, Peter: *Produktlebenszyklen als Basis der Unternehmensplanung*. In: *ZfB (Zeitschrift für Betriebswirtschaft)* 1974 (1974), Nr. 44, S. 635–666
- PFE75 PFEIFFER, Werner; BISCHOF, Peter: *Überleben durch Produktplanung auf der Basis von Produktlebenszyklen*. In: *Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial engineering* (1975), Nr. 24, S. 343–348
- PFE81 PFEIFFER, Werner; BISCHOF, Peter: *Produktlebenszyklen - Instrument jeder strategischen Produktplanung*. In: *Unternehmensführung* (1981), Nr. 1, S. 133–166
- PIN13 PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L.: *Mikroökonomie*. 8., aktualisierte Aufl. [der amerikan. Aufl.]. München: Pearson, 2013 (Wi, Wirtschaft)
- PLE11 PLEWAN, Hans-Jürgen; POENSGEN, Benjamin: *Produktive Softwareentwicklung: Bewertung und Verbesserung von Produktivität und Qualität in der Praxis : Bewertung und Verbesserung von Produktivität und Qualität in der Praxis*. 1. Aufl. s.l.: dpunkt.verlag, 2011
- POR99 PORTER, Michael E.: *Wettbewerbsvorteile : Spitzenleistungen erreichen und behaupten = (Competitive advantage)*. 5., durchges. und erw. Aufl. Frankfurt/Main: Campus-Verl., 1999
- PRE18 PREIBISCH, Sascha: *API Development : A Practical Guide for Business Implementation Success*. Berkeley, CA: Apress, 2018
- RAD77 RADOMSKI, Jürgen; BETZING, Gerhard: Die kalkulatorische Behandlung von Einmalausgaben für Produkt-Entwicklung, -Herstellung und -Markteinführung aus absatzpolitischer Sicht. In: ENGELHARDT, Werner H.; LAßMANN, Gert (Hrsg.): *Anlagen-Marketing*. Opladen : Westdeutscher Verl., 1977 (Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung Sonderheft, 7), S. 185–196
- REI94 REICHMANN, T.; FRÖHLING, O.: Produktlebenszyklusorientierte Planungs- und Kontrollrechnungen als Bausteine eines dynamischen Kosten- und Erfolgs-Controlling. In: DELLMANN, Klaus; AMMANN, Helmut (Hrsg.): *Neuere Entwicklungen im Kostenmanagement*. Bern : Haupt, 1994, S. 281–333

- REI95 REICHMANN, Thomas (Hrsg.): *Handbuch Kosten- und Erfolgs-Controlling*. München: Vahlen, 1995 (Controlling)
- RES16 RESCH, Jens; WEBER, Christian: *Kontextorientierte Entwicklung und Absicherung von festen Verbindungen im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie*. Dissertation, 2016 (Berichte aus dem Institut für Maschinen- und Gerätekonstruktion (IMGK) Band 27)
- RIE96 RIEZLER, Stephan (Hrsg.); COLBE, Walther Busse von (Hrsg.); ENGELHARDT, Werner H. (Hrsg.); GABRIEL, Roland (Hrsg.); HARTWIG, Karl-Hans (Hrsg.); JAEGER, Arno (Hrsg.); LAßMANN, Gert (Hrsg.); MAßBERG, Wolfgang (Hrsg.); WARTMANN, Rolf (Hrsg.); WERNERS, Brigitte (Hrsg.): *Lebenszyklusrechnung*. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1996
- ROT96 ROTH, Karlheinz: *Verbindungen und Verschlüsse, Lösungsfindung : Mit 48 Konstruktionskatalogen und 52 Lösungssammlungen*. 2. Aufl., wesentlich erw. und neu gestaltet. Berlin: Springer, 1996 (Konstruieren mit Konstruktionskatalogen / Karlheinz Roth ; Bd. 3)
- ROT00 ROTH, Karlheinz: *Konstruktionslehre*. 3. Aufl., erw. und neu gestaltet. Berlin: Springer, 2000 (Konstruieren mit Konstruktionskatalogen / Karlheinz Roth ; Bd. 1)
- RÜC94 RÜCKLE, D.; KLEIN, A.: Produkt-Life-Cycle-Management. In: DELLMANN, Klaus; AMMANN, Helmut (Hrsg.): *Neuere Entwicklungen im Kostenmanagement*. Bern : Haupt, 1994, S. 335–367
- RUS00 RUSH, C.; ROY, R.: *Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle*. In: *7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, Lyon, France (2000)*, S. 58–67
- SAA16 Saatweber Jutta: Produkte entwickeln mit QFD - Quality Function Deployment. In: LINDEMANN, Udo (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. München : Hanser, 2016, S. 629–672
- SAU96 SAUERWEIN, Elmar; BAILOM, Franz; MATZLER, Kurt; HINTERHUBER, Hans H.: The Kano model: How to delight your customers, Bd. 1. In: *International Working Seminar on Production Economics*, 1996, S. 313–327
- SCH05 SCHILD, Ulrich: *Lebenszyklusrechnung und lebenszyklusbezogenes Zielkostenmanagement : Stellung im internen Rechnungswesen, Rechnungsausgestaltung und modellgestützte Optimierung der intertemporalen Kostenstruktur*. @Göttingen, Univ., Diss., 2004. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2005
- SCH08 SCHINDLER, Volker: *Forschung für das Auto von morgen : Aus Tradition entsteht Zukunft ; mit 6 Tabellen*. Berlin: Springer, 2008

- SCH04 SCHLÖßER, Friedhelm: *Kostenanalyse als Methodik zur Optimierung von Entwicklungs- und Fertigungsprozessen*. Hamburg, 2004
- SCH12 SCHÖMANN, Sebastian O.: *Produktentwicklung in der Automobilindustrie : Managementkonzepte vor dem Hintergrund gewandelter Herausforderungen*. Zugl.: Eichstätt-Ingolstadt, Univ., Diss., 2011. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2012 (Gabler Research)
- SCH13 SCHULTE, Robert: *Rechnergestütztes Normteilemanagement als Beitrag zu einem optimierten Produktionsplanungsprozess in der Automobilindustrie*. Hamburg, 2013
- SHI91 SHIELDS, Michael D.; YOUNG, S. Mark: *Managing product life cycle costs: an organizational model*. In: *Journal of cost management* 5 (1991), Nr. 3, S. 39–52
- SIE95 SIEGWART, Hans; SENTI, Richard: *Product life cycle Management : Die Gestaltung eines integrierten Produktlebenszyklus*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1995
- SPR14 SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH: *Kompakt-Lexikon Wirtschaft : 5.400 Begriffe nachschlagen, verstehen, anwenden*. 12., aktualisierte u. erw. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014
- STE09 STELLING, Johannes N.: *Kostenmanagement und Controlling*. 3., unveränd. Aufl. München: Oldenbourg, 2009
- VDA08 VDA: *Standardbelieferungsformen der Logistik in der Automobilindustrie*. Frankfurt: Verband der Automobilindustrie
- VDI04a VDI 2206:2004-06: *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI80 VDI 2220:1980-05: *Produktplanung; Ablauf, Begriffe und Organisation*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI19a VDI 2221:2019-11 Blatt 1: *Entwicklung technischer Produkte und Systeme: VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung*
- VDI19b VDI 2221:2019-11 Blatt 2: *Entwicklung technischer Produkte und Systeme: VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung*
- VDI97a VDI 2222:1997-06: *Blatt 1: Konstruktionsmethodik*. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb
- VDI04b VDI 2223:2004-01: *Methodisches Entwerfen technischer Produkte*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI97b VDI 2225:1997-11: *Blatt 1: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Vereinfachte Kostenermittlung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH

- VDI97c VDI 2225:1997-11: *Blatt 4: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Bemessungslehre*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI98 VDI 2225:1998-11: *Blatt 3: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Technisch-wirtschaftliche Bewertung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI90 VDI 2234:1990-01: *Wirtschaftliche Grundlagen für den Konstrukteur*. Januar 1990. Düsseldorf: VDI, 1990 (VDI-Richtlinien 2234)
- VDI87a VDI 2235:1987-10: *Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren : Methoden und Hilfen*. Düsseldorf: VDI, 1987 (VDI-Richtlinien 2235)
- VDI87b VDI 2235:1987-10: *Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI15 VDI 2806:2015-10: *Wertanalyse : Kreativitätspotenziale und Ideenfindung*. Oktober 2015. Berlin, 2015 (VDI-Richtlinien VDI 2806)
- VDI05 VDI 2884:2005-12: *Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI11 VDI 4434:2011-08: *Prozesskosten in der Beschaffungslogistik*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI12 VDI/VDE 2862:2012-04: *Blatt 1: Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen und -werkzeugen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VDI19c VDI-MT 2807:2019-01: *Teamarbeit : Anwendung in Wertanalyse-/Value-Management-Projekten*. Ausg. deutsch/englisch. Berlin: Beuth Verlag GmbH, Januar 2019 (VDI-Richtlinien Mensch und Technik)
- VDM06 VDMA 34160:2006-06: *Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- VIE05 VIELHABER, Michael: *Assembly Oriented Design : Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus*. Zugl.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2005. Saarbrücken: LKT Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, 2005 (Schriftenreihe Produktionstechnik 34)
- WAR21 WARTZACK, Sandro: Auswahl und Bewertungsmethoden. In: BENDER, Beate; GERICKE, Kilian (Hrsg.): *Pahl/Beitz Konstruktionslehre : Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 307–334
- WEI06 WEIß, Matthias: *Wertorientiertes Kostenmanagement*. 1. Aufl. s.l.: DUV Deutscher Universitäts-Verlag, 2006 (Quantitatives Controlling)
- WEL97 WELGE, Martin K.: Neuorientierung der Kostenrechnung zur Unterstützung der strategischen Planung. In: FRANZ, Klaus-Peter; KAJÜTER, Peter (Hrsg.):



- Kostenmanagement: Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung.* Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 1997 (USW-Schriften für Führungskräfte, 33), S. 59–80
- WEY10 WEYAND, Lars: *Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie.* Zugl.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2010. Saarbrücken: LKF, 2010
- WIE11 WIECZORREK, Hans W.; MERTENS, Peter: *Management von IT-Projekten : Von der Planung zur Realisierung.* 4., überarb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011 (Xpert.press)
- WIE14 WIESE, Harald: *Mikroökonomik : Eine Einführung.* 6., bearb. und korr. Aufl. Berlin: Springer Gabler, 2014 (Lehrbuch)
- WIL98 WILDEMANN, Horst (Hrsg.): *Produktions- und Zuliefernetzwerke.* 3. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum-Verl., 1998
- WIL04a WILDEMANN, Horst: *Einkaufspotenzialanalyse : Leitfaden zur Kostensenkung und Gestaltung der Abnehmer-Lieferanten-Beziehung.* 11. Aufl. München: TCW-Verl., 2004 (Leitfaden / TCW Transfer-Centrum für Produktions-Logistik und Technologie-Management)
- WIL04b WILLI KELLERMANNNS, Franz; ISLAM, Majidul: *US and German activity-based costing.* In: *Benchmarking: An International Journal* 11 (2004), Nr. 1, S. 31–51
- WOE14 WOECKENER, Bernd: *Mikroökonomik : Eine Einführung.* 3., überarb. und erg. Aufl. Berlin: Springer Gabler, 2014 (Springer-Lehrbuch)
- WÜB84 WÜBBENHORST, Klaus L.: *Konzept der Lebenszykluskosten : Grundlagen, Problemstellungen und technologische Zusammenhänge.* Darmstadt: Verlag für Fachliteratur, 1984
- WYN07 WYNN, David C.; ECKERT, Claudia M.; CLARKSON, P. John: *Modelling iteration in engineering design,* 2007
- ZEH96 ZEBOLD, Cornelia: *Lebenszykluskostenrechnung.* Wiesbaden: Gabler Verlag, 1996
- ZEP09 ZEPPENFELD, Klaus; FINGER, Patrick: *SOA und WebServices.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009 (Informatik im Fokus)