



FAU Studien aus dem Maschinenbau 332

Eva Bogner

Strategien der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie im Kontext der Digitalisierung

Eva Bogner

Strategien der Produktindividualisierung in der
produzierenden Industrie im Kontext der Digitalisierung

FAU Studien aus dem Maschinenbau

Band 332

Herausgeber der Reihe:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke

Prof. Dr.-Ing. Nico Hanenkamp

Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein

Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack

Eva Bogner

**Strategien der
Produktindividualisierung in der
produzierenden Industrie
im Kontext der Digitalisierung**

Dissertation aus dem Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und
Produktionssystematik (FAPS)

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke

Erlangen

FAU University Press

2019

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im
Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bitte zitieren als

Bogner, Eva. 2019. *Strategien der Produktindividualisierung in der
produzierenden Industrie im Kontext der Digitalisierung*. FAU Studien aus
dem Maschinenbau Band 332. Erlangen: FAU University Press.
DOI: 10.25593/978-3-96147-247-5.

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.
Die Rechte an allen Inhalten liegen bei ihren jeweiligen Autoren.
Sie sind nutzbar unter der Creative Commons Lizenz BY-NC.

Der vollständige Inhalt des Buchs ist als PDF über den OPUS Server
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg abrufbar:
<https://opus4.kobv.de/opus4-fau/home>

Verlag und Auslieferung:
FAU University Press, Universitätsstraße 4, 91054 Erlangen

Druck: docupoint GmbH

ISBN: 978-3-96147-246-8 (Druckausgabe)
eISBN: 978-3-96147-247-5 (Online-Ausgabe)
ISSN: 2625-9974
DOI: 10.25593/978-3-96147-247-5

**Strategien der Produktindividualisierung
in der produzierenden Industrie im Kontext der
Digitalisierung**

Der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

zur
Erlangung des Doktorgrades Dr.-Ing.

vorgelegt von

Eva Bogner, M.Sc.

aus Nürnberg

Als Dissertation genehmigt
von der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der mündlichen

Prüfung: 12.07.2019

Vorsitzender des

Promotionsorgans: Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke
Prof. Dr. Alexander Pflaum,
Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Mein besonderer Dank gilt dem Lehrstuhlinhaber Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke für das in mich gesetzte Vertrauen und die Möglichkeit zur Promotion. Seine stetige Unterstützung haben einen großen Beitrag zur Erstellung meiner Dissertation und auch meiner persönlichen Weiterentwicklung geleistet. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Alexander Pflaum die Übernahme des Zweitgutachtens. Darüber hinaus geht mein Dank an Herrn Prof. Dr. Freimut Bodendorf für die Beteiligung als weiteres Mitglied des Prüfungsausschusses. Zusätzlich danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann den Vorsitz des Promotionsverfahrens.

Wesentliche Elemente der Arbeit sind in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern aus der Industrie entstanden. Hier danke ich vor allem Herrn Dr. Ulrich Löwen für die interessanten Diskussionen und Ideen.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für die angenehme Arbeitsatmosphäre, den fachlichen Austausch sowie auch die gemeinsamen Aktivitäten und die Freundschaften, die im Laufe meiner Zeit am Lehrstuhl entstanden sind. Hervorheben möchte ich dabei meine ehemaligen Bürokollegen Matthias Brossog und Jupiter Bakakeu sowie Jochen Zeitler, Maximilian Metzner, Ralf Böhm, Johannes Bürner und Thomas Braun. Besondere Erwähnung sollte hier auch Gertrud Stretz finden, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist. Darüber hinaus möchte ich mich auch bei allen Studenten bedanken, die mich unterstützt haben.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht haben, für ihre Unterstützung und ihren Rückhalt bedanken. Mein größter Dank gilt meinem Partner Markus, der mich auf meinem Weg am Lehrstuhl begleitet hat und mir immer ein offenes Ohr, viel Geduld und vor allem Verständnis entgegenbringt. Es bedeutet mir sehr viel, einen Partner an meiner Seite zu haben, der mich stets bei der Erreichung meiner Ziele unterstützt.

Lichtenfels, im Juli 2019

Eva Bogner

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Vorgehensweise	2
2 Rahmenbedingungen der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie	5
2.1 Treiber der Produktindividualisierung	5
2.1.1 Marktwandel	5
2.1.2 Gesellschaftlicher Wandel	7
2.1.3 Mass Customization als Reaktion	8
2.2 Grundlagen der produzierenden Industrie in Deutschland	12
2.2.1 Begriffsklärung	12
2.2.2 Klassifizierung der produzierenden Industrie	13
2.3 Bedeutung der Produktindividualisierung	16
2.3.1 Produktindividualisierung im B2C-Markt	17
2.3.2 Produktindividualisierung im B2B-Markt	19
2.3.3 Chancen und resultierende Herausforderungen der Produktindividualisierung	21
2.4 Einfluss des technologischen Wandels	22
2.4.1 Übersicht über die industriellen Revolutionen	22
2.4.2 Chancen der vierten industriellen Revolution	24
2.4.3 Bedeutung für die Produktindividualisierung	26
2.5 Zusammenfassung	27
3 Ansätze und Herausforderungen der Umsetzung von Produktindividualisierung	29
3.1 Begriffsklärung	29
3.1.1 Analyse des Individualisierungsbegriffes	29
3.1.2 Abgrenzung von verwandten Begriffen	31
3.1.3 Definition der Individualisierungsstrategie	34
3.1.4 Abgrenzung der Produktindividualisierung von weiteren Wertschöpfungskonzepten	36

3.2	Entwicklung individualisierter Produkte	38
3.2.1	Allgemeine Vorgehensweise.....	39
3.2.2	Arten der Produktentwicklung	40
3.2.3	Definition von Freiheitsgraden und des Individualisierungsgrades	42
3.3	Produktion individualisierter Produkte	44
3.3.1	Einordnung der Produktion individualisierter Produkte	44
3.3.2	Anforderungen an die Produktion individualisierter Produkte	45
3.3.3	Abstufungen von Produktionssystemen für individualisierte Produkte	46
3.4	Kundenintegration.....	50
3.4.1	Formen der Kundenintegration	50
3.4.2	Herausforderungen der Kundenintegration.....	51
3.4.3	Anforderungen an eine erfolgreiche Kundenintegration	53
3.5	Methoden für das Management von Produktindividualisierung	55
3.5.1	Komplexitätsmanagement als Herausforderung in der Produktindividualisierung.....	55
3.5.2	Methoden für das Management von Produktindividualisie- rung in Produktentwicklung und Produktion.....	57
3.5.3	Methoden für das Management von Produktindividualisie- rung in der Kundenintegration	63
3.6	Bestehende Modelle der Produktindividualisierung.....	68
3.6.1	Kriterien für die Bewertung.....	68
3.6.2	Charakterisierung der Modelle	70
3.6.3	Bewertung der Modelle.....	75
3.6.4	Anforderungen an einen Lösungsansatz und Handlungsbe- darf	77
3.7	Zusammenfassung	78
4	Entwicklung eines Modells zur Strukturierung und Charakterisierung von Produktindividualisierung.....	81
4.1	Forschungsmethodik.....	81
4.2	Konzeption des Modells.....	83
4.2.1	Methodische Einordnung in RAMI 4.0	83
4.2.2	Strukturierung des Modells	85

4.3	Wertschöpfungsprozesse in der Produktindividualisierung	87
4.3.1	Möglichkeiten zur Untergliederung des Wertschöpfungsprozesses.....	87
4.3.2	Ansatz zur Detaillierung des Wertschöpfungsprozesses im Hinblick auf Produktindividualisierung	91
4.3.3	Informationsarten entlang des Wertschöpfungsprozesses	93
4.4	Strategien der Individualisierung	96
4.4.1	Neuproduktentwicklung	97
4.4.2	Produktanpassung	98
4.4.3	Fertigungsprozessanpassung	100
4.4.4	Parametrisierbare Produkte	101
4.4.5	Baukastenprodukte	102
4.4.6	Konfigurierbare Produkte	104
4.4.7	Veredelbare Produkte	106
4.5	Betrachtung des Produktindividualisierung-Produktionsstrategie-Modells	107
4.5.1	Darstellung der Kundeninteraktionspunkte	108
4.5.2	Abstraktion des Modells	109
4.6	Zusammenfassung und Limitationen	112
5	Validierung des Produktindividualisierung-Produktionsstrategie-Modells	115
5.1	Methodische Vorgehensweise	115
5.2	Empirische Erhebung	118
5.2.1	Experteninterviews	118
5.2.2	Untersuchung von bestehenden Publikationen	125
5.3	Erkenntnisse und Implikationen	126
5.4	Bewertung des Modells	129
6	Untersuchung der Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung	131
6.1	Evaluierung des Zusammenhangs zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung	131
6.1.1	Qualitative Inhaltsanalyse	131
6.1.2	Empirische Auswertung	132

6.2	Ansatz zur Untersuchung des Einflusses von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung auf Basis von Anwendungsszenarien.....	135
6.2.1	Auftragsgesteuerte Produktion	136
6.2.2	Wandlungsfähige Fabrik.....	138
6.2.3	Selbstorganisierende adaptive Logistik	140
6.2.4	Value Based Services	142
6.2.5	Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte	142
6.2.6	Anwenderunterstützung in der Produktion	144
6.2.7	Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion	145
6.2.8	Innovative Produktentwicklung.....	147
6.2.9	Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen ..	149
6.2.10	Additive Fertigung.....	151
6.3	Zusammenfassung der Bewertung	153
6.4	Fazit.....	154
7	Zusammenfassung und Ausblick	157
8	Summary and outlook	161
	Anhang	165
	Literaturverzeichnis	169

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis

<i>Abkürzung</i>	<i>Beschreibung</i>
<i>AGP</i>	Auftragsgesteuerte Produktion
<i>AM</i>	Additive Fertigung
<i>AUP</i>	Anwenderunterstützung in der Produktion
<i>B2B</i>	Business-to-business
<i>B2C</i>	Business-to-consumer
<i>BMWi</i>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<i>BP</i>	Baukastenprodukte
<i>CIM</i>	Computer Integrated Manufacturing
<i>CPS</i>	Cyber-physische Systeme
<i>DDA</i>	Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen
<i>FA</i>	Fertigungsprozessanpassung
<i>I</i>	Individualisierungsgrad eines Produktes
<i>IPE</i>	Innovative Produktentwicklung
<i>KP</i>	Konfigurierbare Produkte
<i>NC</i>	Numerical Control
<i>NE</i>	Neuproduktentwicklung
<i>PA</i>	Produktanpassung
<i>PAC</i>	Pierre Audion Consultants
<i>PE_{ka}</i>	kundenanonyme Produkteigenschaften
<i>PE_{ks}</i>	kundenspezifische Produkteigenschaften
<i>PIPS</i>	Produktindividualisierung-Produktionsstrategie
<i>PP</i>	Parametrisierbare Produkte
<i>SAL</i>	Selbstorganisierende adaptive Logistik
<i>SP2</i>	Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion
<i>TWP</i>	Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte
<i>VBS</i>	Value Based Services
<i>VP</i>	Veredelbare Produkte
<i>WFF</i>	Wandlungsfähige Fabrik

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf die Entwicklung eines Produktindividualisierung-Produktionsstrategie-Modells, das eine Analyse und Bewertung der technologischen und methodischen Möglichkeiten der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie vornimmt. Mittels des Modells wird zum einen ein einheitliches Verständnis hergestellt und zum anderen eine systematische Beschreibung und Abgrenzung der existierenden Strategien der Produktindividualisierung geschaffen. Ziel ist es auf Basis des Modells einen Bezug zwischen Produktindividualisierung und den Auswirkungen durch die technischen Möglichkeiten im Rahmen von Industrie 4.0 herzustellen. Dazu wird im Folgenden zunächst auf die Motivation und Zielsetzung sowie die Vorgehensweise der Arbeit eingegangen.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Produzierende Unternehmen sehen sich generell durch den in den vergangenen Jahrzehnten vollzogenen Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt gezwungen, durch immer individuellere Kundenanforderungen eine steigende Anzahl an unterschiedlichen Produkten bzw. Produktvarianten anzubieten [1]. Ein einheitliches Verständnis für den Begriff der Produktindividualisierung, der häufig als Schlagwort eingesetzt wird, existiert dabei jedoch nicht. Im Kontext der vierten industriellen Revolution wird von einer zunehmenden Flexibilisierung und Individualisierung gesprochen. Dabei wird im Zusammenhang mit der Forderung nach individualisierten Produkten häufig die Produktion kundenindividueller Produkte in Losgröße 1 als Produktionsstrategie der Zukunft propagiert. Dies ist allerdings kritisch zu hinterfragen. Da die produzierende Industrie in den unterschiedlichen Branchen sehr heterogen und unterschiedlichsten Treibern ausgesetzt ist, stellt sich insbesondere die Frage, welche verschiedenen Strategien in Hinblick auf die Individualisierung von Produkten existieren und welche dabei den größten Nutzen verspricht. [2]

Ziel ist es, eine strukturierte Beschreibung der Anforderungen und der Umsetzungsmöglichkeiten von Produktindividualisierung über die produzierende Industrie hinweg zu entwickeln. Dazu gilt es zunächst, die Produktindividualisierung innerhalb der produzierenden Industrie in Bezug auf verschiedene Branchen und Produkte zu analysieren. Ausgehend von dieser Betrachtung wird ein Modell entwickelt, das die verschiedenen

Möglichkeiten der Produktindividualisierung und deren wesentliche Perspektiven strukturiert und erläutert. Mithilfe des Modells wird so ein einheitliches Verständnis bezüglich Produktindividualisierung geschaffen und ein Überblick über die Möglichkeiten gegeben, welche Möglichkeiten Unternehmen der produzierenden Industrie zur Umsetzung von Produktindividualisierung haben. Gleichzeitig zeigt das Modell auf, welche Anforderungen sich daraus für die Produkt- und Prozessgestaltung, die Produktion sowie die Schnittstelle zum Kunden ergeben. Zudem können verschiedene Ausprägungen von Produktindividualisierung in das Modell eingeordnet werden. Aus einer Einordnung können dann Fragen im Hinblick auf eine strategische Weiterentwicklung von vorhandenen Ansätzen der Produktindividualisierung sowie Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Darüber hinaus wird im Rahmen der Arbeit aufgezeigt, welche Rolle Produktindividualisierung im Zukunftsbild der vierten industriellen Revolution einnimmt und wie die technische Umsetzung von Produktindividualisierung durch neue Technologien in diesem Umfeld unterstützt wird.

1.2 Vorgehensweise

Die Forschungsmethodik, die dieser Arbeit für die Beantwortung der Forschungsfrage zugrunde gelegt wird, orientiert sich an dem Design Science-Ansatz. Dementsprechend ist die Strukturierung dieser Arbeit auch grundsätzlich an dem von GREGOR und HEVNER [3] entwickelten Publikationsschema für Design Science-Forschung angelehnt. Den Orientierungsrahmen dafür schaffen die insgesamt fünf Teilprozesse des Design Science-Ansatzes (siehe Bild 1).

Ziel der Betrachtung in Kapitel 2 ist es dabei, Erkenntnisse über die Betrachtungsdomäne der produzierenden Industrie vor allem in Bezug auf die Produktindividualisierung zu gewinnen. Dazu wird zum einen der Trend zur Produktindividualisierung und dessen Ursachen und Wirkung auf die einzelnen Teilbereiche der produzierenden Industrie analysiert. Auf Basis dieser Erkenntnisse lassen sich entsprechende Anforderungen an ein Modell zur Beschreibung von Produktindividualisierung aufzeigen und weitere Implikationen für die Forschungsarbeit ableiten.

Kapitel 3 widmet sich im Rahmen einer Literaturanalyse den wissenschaftlichen Grundlagen der Produktindividualisierung. Aufbauend auf eine Definition und Abgrenzung der Produktindividualisierung werden die

wesentlichen Bestandteile und Herausforderungen der Produktindividualisierung herausgearbeitet. Diese Betrachtung spannt einen grundsätzlichen Rahmen für die anschließende Modellentwicklung auf. Zudem werden bestehende Ansätze und Modelle zur Beschreibung und Strukturierung von Produktindividualisierung untersucht und hinsichtlich ausgewählter Kriterien bewertet. Dies ermöglicht zum einen das Aufzeigen von konkreten Forschungsbedarfen und zum anderen eine Abgrenzung der vorliegenden Forschungsarbeit.

Die eigentliche Ausgestaltung des Modells wird in Kapitel 4 vorgenommen. Dazu wird zunächst die zugrundeliegende Forschungsmethodik konkretisiert. Anschließend wird die Entwicklung des Modells zur Strukturierung und Beschreibung von Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie dargestellt, das den Kern der Forschungsarbeit darstellt. Das Modell stützt sich sowohl auf die in Kapitel 2 und 3 gewonnenen Erkenntnisse als auch auf praxisrelevante Beispiele. Kern des Kapitels stellt schließlich die Beschreibung des entwickelten Modells sowie die Hinweise zu Anwendung und Limitationen dar.

Kapitel 5 beinhaltet die Evaluation des Modells anhand verschiedener ausgewählter Praxisbeispiele. Die methodische Grundlage dazu bildet die Fallstudienforschung, die eine empirische Validierung des erstellten Modells mittels Fallstudien umfasst. Ziel ist es, die Umsetzbarkeit des Modells zu verifizieren und die praktische Relevanz der Forschungsarbeit zu belegen. Zudem lassen sich daraus weitere Erkenntnisse über die definierten Strategien und deren entsprechende Umsetzung ableiten. Des Weiteren wird an dieser Stelle das entwickelte Modell auf Basis der bereits in Kapitel 3 angewendeten Kriterien bewertet, um eine entsprechende Qualitätssicherung durchzuführen.

In Kapitel 6 wird auf Basis einer qualitativen Literaturanalyse und der Auswertung einer Datenbank mit Praxisbeispielen der vorliegende Zusammenhang zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung untersucht. Konkrete Interdependenzen und vor allem Möglichkeiten und Potentiale der Industrie 4.0 in Bezug auf die Produktindividualisierung werden anhand des entwickelten Modells und einer Auswahl existierender Anwendungsszenarien, die einen Querschnitt durch die verschiedenen Teilbereiche der Industrie darstellen, aufgezeigt. Dies ermöglicht es die eingangs in Kapitel 2 geschilderten Entwicklungen und Hypothesen im Detail zu beleuchten und zu belegen.

Eine abschließende Zusammenfassung über die gewonnenen Erkenntnisse sowie einen Ausblick, der gleichzeitig Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten aufzeigt, gibt Kapitel 7.

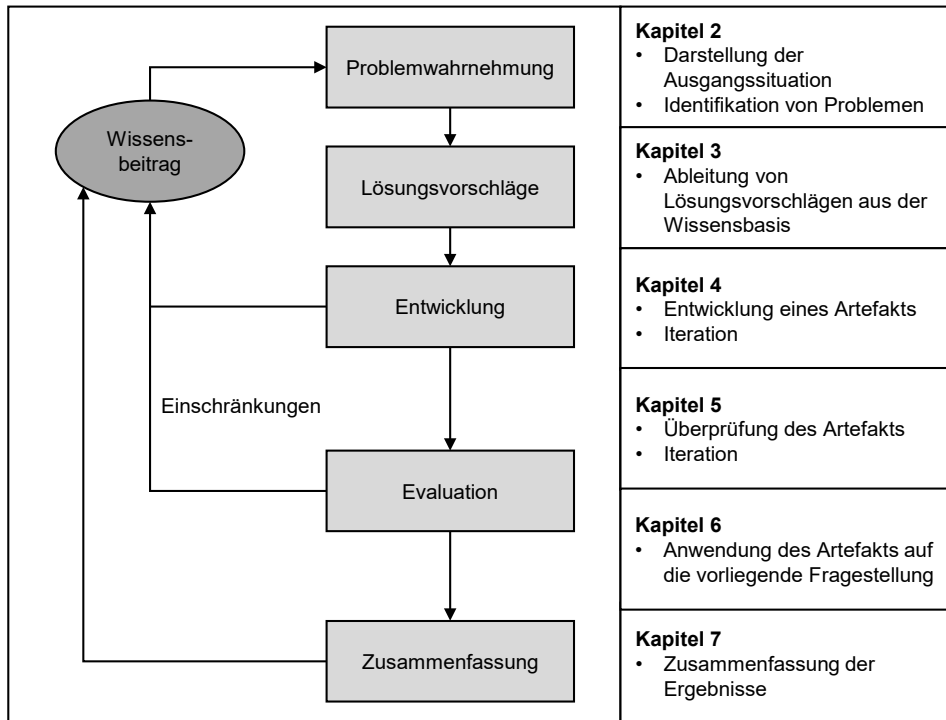


Bild 1: Allgemeines Vorgehen der Arbeit in Anlehnung an [4, 5]

2 Rahmenbedingungen der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie

Die zunehmende Thematisierung der Produktindividualisierung, die vor allem im Zuge der vierten industriellen Revolution in den Vordergrund gerückt wird, erfordert eine genauere Betrachtung der vorhandenen Zusammenhänge. Ziel dieses Kapitels ist es, die Ausgangssituation zu skizzieren und Handlungsbedarfe für den weiteren Verlauf der Arbeit abzuleiten.

Für das vorliegende Kapitel wird zunächst das Verständnis der Produktindividualisierung als Ausrichtung der Leistungserstellung an den individuellen Bedürfnissen der einzelnen Kunden zugrunde gelegt [6], da der Begriff der Produktindividualisierung erst in Kapitel 3 im Detail betrachtet wird.

2.1 Treiber der Produktindividualisierung

Bei der Produktindividualisierung handelt es sich nicht um einen kurzfristig entstandenen Trend, sondern vielmehr um eine sukzessive Entwicklung, die von verschiedenen Faktoren getrieben wird. Die Rolle der einzelnen Treiber sowie die Bedeutung der Mass Customization in diesem Kontext werden im Folgenden herausgearbeitet.

2.1.1 Marktwandel

Der Wandel vom Verkäufer- hin zu einem Käufermarkt, der sich durch die Macht der Nachfrager auszeichnet, ist ein typisches Phänomen des 20. Jahrhundert in der westlichen Welt. Denn neben dem technischen Fortschritt der Produktionssysteme, verändern sich gleichzeitig auch die Marktbedingungen über den Zeitverlauf erheblich. Dieser Wandel hat einen signifikanten Einfluss auf die Ausrichtung der Unternehmen innerhalb der produzierenden Industrie (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich von Verkäufer- und Käufermarkt in Anlehnung an [7, 8]

Merkmal	Verkäufermarkt	Käufermarkt
Wirtschaftliches Entwicklungsstadium	Knappheitswirtschaft	Überflussgesellschaft
Verhältnis von Angebot zu Nachfrage	Nachfrage > Angebot (Nachfrageüberhang)	Angebot > Nachfrage (Angebotsüberhang)
Kaufverhalten der Nachfrager	Kunde „muss“ verfügbares Produkt kaufen	Kunde wählt Produkt unter der Prämisse der maximalen Bedürfnisbefriedigung
Strategie der Anbieter	Produktorientierung	Bedürfnisorientierung
Primäres Ziel der Anbieter	Erweiterung der Beschaffungs- und Produktionskapazitäten	Weckung von Nachfrage und Schaffung von Präferenzen für eigenes Angebot

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts steht die industrielle Massenproduktion im Mittelpunkt (siehe Bild 2). Die Märkte sind von einer stark wachsenden Nachfrage sowie einem knappen Angebot geprägt. Im Zuge der zweiten industriellen Revolution werden durch die Arbeitsteilung, verbunden mit dem Einsatz von Fließbändern und einer hohen Standardisierung, enorme Produktivitätssteigerungen in der Produktion erreicht. Trotzdem kann die wachsende Nachfrage nur teilweise befriedigt werden. Dieser Zustand der Produktionsorientierung hält in Deutschland bis Mitte der 1950er Jahre an. Kunden haben nicht die Möglichkeit zwischen verschiedenen Produktalternativen zu wählen, sondern sehen sich mit einem knappen Angebot konfrontiert. [9, 7]

Es folgt die Phase der Verkaufsorientierung, welche durch die zunehmende Sättigung vieler Märkte und dem daraus resultierenden steigenden Konkurrenzdruck gekennzeichnet ist. Produzierende Unternehmen konzentrieren sich zunehmend auf verkaufsunterstützende Tätigkeiten, um den Absatz ihrer Produkte weiterhin sicherzustellen. [8]

Im Laufe der 1970er Jahre erweist sich aufgrund des steigenden Wirtschaftswachstums nach dem zweiten Weltkrieg und dem aufkommenden Wettbewerb, die alleinige Verkaufsorientierung als nicht mehr ausreichend. Es erfolgt ein vollständiger Wandel hin zum Käufermarkt, in dem das Marktangebot die vorhandene Nachfrage übersteigt. Die Position der Kunden wird gestärkt, sie haben nun die Möglichkeit in einem breiten Produktangebot zu wählen. Produzierende Unternehmen müssen sich an die veränderten Kundenanforderungen anpassen. Dies bedeutet, dass nicht

mehr so viel wie möglich produziert werden muss, um die vorhanden Nachfrage zu befrieden, sondern nur das, was tatsächlich nachgefragt wird. Zudem müssen diese um Kunden werben und sich mit den individuellen Kundenbedürfnissen auseinandersetzen, um sich erfolgreich am Markt gegenüber dem Wettbewerb zu positionieren. Unternehmen werden immer stärker mit sinkenden Stückzahlen pro Modell und Variante und der Forderung nach individualisierten Produkten konfrontiert. Bild 2 zeigt die Entwicklung der Produktvielfalt und des Produktvolumens pro Variante. [10, 11]

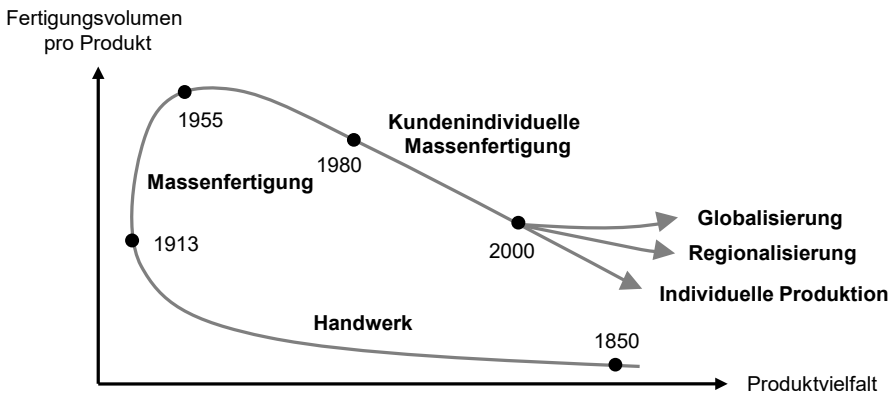


Bild 2: Evolution der Fertigungsparadigmen in Anlehnung an [10]

2.1.2 Gesellschaftlicher Wandel

Neben dem Wandel der Marktbedingungen besteht auch ein gesellschaftlicher Wandel, der Einfluss auf die Produktindividualisierung nimmt. Der Begriff der Individualisierung wird aus sozialwissenschaftlicher Perspektive maßgeblich durch den Soziologen BECK geprägt. BECK beschreibt Individualisierung als einen langfristigen Prozess der gesamten Gesellschaft, in dem jeder Einzelne nach Selbstbestimmung und Selbstverwirklichung strebt [12]. Eine individualisierte Gesellschaft setzt voraus, dass jeder individuell entscheiden kann, wie er lebt und handelt, allerdings auch gleichzeitig die Konsequenzen für seine Entscheidungen tragen und Verantwortung übernehmen muss [13].

Die seit den 1960er Jahren anhaltende Individualisierungsbewegung basiert auf drei maßgeblichen gesellschaftlichen Entwicklungen. Dazu zählt vor allem die bis in die 1980er Jahre andauernde Wohlstandssteigerung über nahezu alle Bevölkerungsgruppen hinweg. Daneben führt die Verkürzung der Arbeitszeiten zu einem steigenden Umfang an Freizeit, in der den

eigenen Interessen nachgegangen werden kann. Auch das wachsende Bildungsniveau spielt dabei eine entscheidende Rolle. Der Mensch wird selbstbewusster und hat einen stärkeren Drang sich aus der Gesellschaft herauszulösen. Bestehende Werte wie Disziplin, Gehorsam und Selbstbeherrschung werden von hedonistischen Werten wie Genuss, Selbstentfaltung und Kreativität abgelöst [14]. Die zunehmende Orientierung an den individuellen Bedürfnissen hat letztendlich vor allem auch Auswirkungen auf das Konsumverhalten, da der Mensch diese auch in der Nachfrage nach entsprechenden Produkten zum Ausdruck bringt. Die Folge ist eine steigende Heterogenität der Nachfrage, die zu einer wachsenden Bedeutung von Angeboten führt, die stärker auf die Bedürfnisse einzelner Konsumenten ausgerichtet ist. [12, 13, 15]

Seit den 1980er Jahren vollzieht sich zudem ein tiefgreifender Wandel hin zu einer Informations- und Kommunikationsgesellschaft. Neben verschiedensten Informations- und Kommunikationstechnologien wird vor allem das Internet zur neuen treibende Kraft des gesellschaftlichen Wandels. Seit den 1990er Jahren erfährt das Internet eine rasante Ausbreitung. 2018 gibt es rund 63 Millionen Internetnutzer in Deutschland, was einem Anteil von 76 Prozent der Bevölkerung entspricht [16]. Das Internet ermöglicht eine Vernetzung, die zu einer Verstärkung, Beschleunigung und Globalisierung der Kommunikation führt [17]. Dies hat nicht nur Auswirkungen auf den Austausch untereinander, sondern maßgeblich auch auf Entscheidungsfindungen und das Konsumverhalten. Konsum wird zeit- und ortsunabhängig. Konsumenten können rund um die Uhr aus einer weltweit verfügbaren, breiten Vielfalt an Produkten auswählen, die am besten zu ihren individuellen Bedürfnissen passen. Zudem können mittels verschiedener Vergleichsportale und auch eigener Recherchen Preise verglichen und der kostengünstigste Anbieter ausgewählt werden. Dies führt zu einer abnehmenden Kundenloyalität sowie einer zunehmenden Markttransparenz, was wiederum eine Etablierung der Machtposition des Kunden gegenüber dem Anbieter nach sich zieht. Allerdings können mittels Internet- und Social Media-Technologien vorhandene Kundenbedürfnisse schneller erfasst und darauf reagiert werden. [18–20]

2.1.3 Mass Customization als Reaktion

Im Zuge des Marktwandels und der dargestellten gesellschaftlichen Entwicklungen ist der Trend der sogenannten Mass Customization entstanden, der als mögliche Antwort der produzierenden Industrie auf die veränderten Bedingungen gesehen werden kann [21–24].

Der Begriff Mass Customization bildet ein Oxymoron, das die grundlegenden Begriffe Massenproduktion (*engl. mass production*) und Anpassung (*engl. customization*) miteinander verbindet. Die deutsche Übersetzung „maßgeschneiderte Massenfertigung“ lässt fälschlicherweise eine inhaltliche Verbindung mit der Modeindustrie erahnen, weshalb die branchenübergreifende Bezeichnung der „kundenindividuellen Massenproduktion“ im Deutschen vorzuziehen ist [25]. Ziel der kundenindividuellen Massenproduktion ist die Fertigung von kundenindividuellen Produkten mit der Effizienz einer vergleichbaren Massenproduktion [22]. Das bedeutet, dass aufgrund entsprechend gestalteter Organisationsstrukturen und Produktionsprozesse kundenindividuelle Produkte im gleichen Preissegment wie Massenprodukte angeboten werden können und der Kunde keinen Aufpreis für die Individualisierung eines Produktes bezahlen muss [21].

TOFFLER [26] beschreibt bereits im Jahr 1980 eine derartige zukünftige Revolution. Er spricht von dem Zerfall der Massenmärkte und der Produktgestaltung anhand der Wünsche und Bedürfnisse des einzelnen Individuums. Der eigentliche Begriff der Mass Customization wird allerdings erst Ende der 1980er Jahre von DAVIS [27] geprägt. Dieser greift den Gedanken TOFFLERS auf und erläutert anhand des Beispiels der Bekleidungsindustrie die Vision der kundenindividuellen Massenproduktion. Er begründet dabei die Notwendigkeit der Unternehmen, sich an den individuellen Bedürfnissen der Kunden zu orientieren damit, dass nicht alle Menschen gleich sind und vor allem jeder unterschiedliche Maße besitzt. Eine vollständige und detaillierte Beschreibung des Konzeptes der Mass Customization liefert PINE [24] im Jahr 1993. Darauf aufbauend sind zahlreiche weitere Publikationen entstanden, welche die Grundlage für die anschließend aufgekommene breite Diskussion zum Thema Mass Customization darstellen. [21]

Aufbauend auf die theoretischen Darstellungen in der Literatur lassen sich insgesamt vier Generationen der praktischen Umsetzung von Mass Customization unterscheiden (siehe Bild 3) Die erste Generation der Mass Customization umfasst Unternehmen, die diesen Ansatz Anfang der 1990er Jahre basierend auf den Ausführungen PINES [24] aus einer reinen Produktionssicht heraus, getrieben durch die technologischen Befähiger in Form von flexiblen Produktionstechnologien, verfolgen. Eine geeignete Vermarktungsplattform fehlt zu diesem Zeitpunkt allerdings noch. Es handelt sich um einen stark theoretischen Ansatz, der eine erste Weiterentwicklung des Konzeptes der Variantenproduktion darstellt. [28]

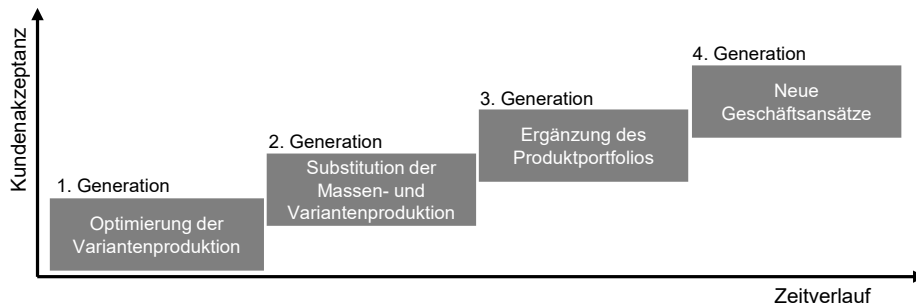


Bild 3: Entwicklungsverlauf der Mass Customization

Die steigende Verbreitung des Internets bietet eine notwendige Vermarktungsplattform für das Konzept der Mass Customization. In der zweiten Generation wird der Ansatz der Mass Customization von Unternehmen als Chance gesehen, um sich im Internet im Bereich des E-Commerce durch individuelle Produkte zu differenzieren. Das Schlagwort Mass Customization wird in vielen Businessplänen eingesetzt und soll die Massen- und Variantenproduktion ersetzen. Die meisten Pioniere der Mass Customization unterschätzen jedoch die Kosten, fertigen ohne Gewinn und geben das Geschäft nach kurzer Zeit wieder auf. [29, 30]

Die dritte Generation der Mass Customization besteht aus Unternehmen, die sich im Bereich der Massenfertigung etabliert haben. Diese Unternehmen sehen Mass Customization nicht mehr als Ersatz für die Massen- und Variantenproduktion, sondern als sinnvolle Erweiterung des Produktportfolios. Mass Customization wird als Möglichkeit genutzt, um Bestandskunden besser bedienen und zugleich durch die Interaktion wichtige Kundendaten zu erfassen zu können. Diese helfen die Neuprodukt- und Absatzplanung zu optimieren. Diese Form der Mass Customization birgt ein deutlich größeres Potential als die reine Konzentration der Wertschöpfung auf die Erfüllung eines Individualisierungswunsches, was im Zentrum der ersten beiden Generationen steht. [29, 30]

Die vierte Generation ist durch neue Geschäftsansätze geprägt. Seit einigen Jahren gibt es zahlreiche junge Unternehmen, die den Gedanken der Mass Customization als Grundlage für neue Geschäftsmodelle aufgreifen. Im Zuge der starken Verbreitung des Internethandels und vor allem auch der sozialen Netzwerke hat sich der Markt im Bereich der Mass Customization gewandelt. Das Internet stellt eine Schnittstelle dar, die es dem Kunden erlaubt direkt in digitaler Form mit den Anbietern zu kommunizieren und seine Individualisierungswünsche zu formalisieren. [31] Verbreitet sind

diese vor allem im Bereich von Geschenkartikeln. Die angebotenen Produkte zeichnen sich dabei häufig durch begrenzte Individualisierungsmöglichkeiten aus. Wie eine Befragung von Unternehmen [S1], die dieser Generation zugeordnet werden können, zeigt, wird in vielen Fällen jedoch nicht auf das Prinzip der Massenproduktion, sondern auf die klassische Einzelherstellung zurückgegriffen. Nur 50 Prozent der befragten Unternehmen sind in der Lage, tatsächlich in einer Massenfertigung zu produzieren. Dementsprechend verkaufen auch nur 25 Prozent der Unternehmen ihre Produkte zu Preisen, die im Preissegment von Massenprodukten liegen. Ebenso offenbart eine Studie des Unternehmens Netigate [32], dass rund 75 Prozent der Käufer von Mass Customization Produkten bereit sind, bis zu 50 Prozent mehr für ein derartiges Produkt auszugeben.

Das Konzept der Mass Customization hat seit den rein theoretischen Ansätzen in den 1980er Jahren eine kontinuierliche Weiterentwicklung durchlaufen und sich stark verändert. Der ursprüngliche Gedanke wird kaum mehr verfolgt. Allerdings ist über die einzelnen Generationen hinweg ein deutlicher Anstieg der Kundenakzeptanz für Mass Customization Produkte zu erkennen (siehe Bild 3) [29]. Während es zu Beginn noch kaum potentielle Käufer gab, steigt das Interesse an entsprechenden Produkten zunehmend.

Eine Abgrenzung von dem Begriff der Produktindividualisierung bzw. eine Einordnung in die Produktindividualisierung gestaltet sich allerdings aufgrund der vielfältigen existierenden Sichtweisen zum Thema Mass Customization schwierig. An vielen Stellen werden die Begriffe Mass Customization und Produktindividualisierung sogar synonym eingesetzt [P1]. Eine genauere Betrachtung zeigt allerdings, dass sich das Konzept der Mass Customization nur auf einen Teilausschnitt der produzierenden Industrie bezieht und somit der Vielfalt des Begriffes der Produktindividualisierung nicht gerecht wird. Mit dem Begriff der Mass Customization werden maßgeblich Formen der Individualisierung beschrieben, die eine Interaktion mit dem Endkunden voraussetzen und sich somit auf den Konsumgütermarkt beziehen. Jedoch spielt auch in anderen Bereichen der produzierenden Industrie die Produktindividualisierung eine wichtige Rolle. Strategien der Individualisierung im Industriegütermarkt werden durch Mass Customization beispielsweise nicht beschrieben. Für eine gesamtheitliche Betrachtung von Produktindividualisierung ist dementsprechend zunächst eine genauere Analyse und Einteilung der produzierenden Industrie notwendig.

2.2 Grundlagen der produzierenden Industrie in Deutschland

Die produzierende Industrie stellt den Bezugsrahmen der Arbeit dar. Da der Begriff der produzierenden Industrie allerdings bisher nicht eindeutig definiert ist, ist eine Begriffsklärung und Abgrenzung im Rahmen der Arbeit unerlässlich, um den Bezugsrahmen zu schärfen. Darüber hinaus wird im Rahmen des Kapitels eine Klassifizierung der produzierenden Industrie vorgenommen. Diese Darstellung bildet die Grundlage für die anschließende Betrachtung der Bedeutung der Produktindividualisierung.

2.2.1 Begriffsklärung

Die Produktion ist im weitesten Sinne als der Einsatz von Gütern und deren zielgerichtete Transformation in andere Güter definiert [33]. Dies wird durch den Begriff der Produktionstechnik konkretisiert, der die Energietechnik, Verfahrenstechnik und die Fertigungstechnik umfasst und sich somit auf Nutzenergie, Fließgüter und Stückgüter bezieht [34]. Alle drei Güterarten können unter dem Begriff der Sachgüter zusammengefasst werden (siehe Bild 4).

DYCKHOFF [35] und GUTENBERG [36] definieren die industrielle Produktion als die Erstellung von Sachgütern, was dem Produktionsbegriff im engeren Sinne entspricht, der auch dieser Arbeit zugrunde gelegt wird. Die industrielle Produktion wird im Nachfolgenden als Gegenstand der produzierenden Industrie und somit als Bezugsrahmen der Arbeit betrachtet.

Darüber hinaus existieren auch Formen der immateriellen Produktion. Diese zählen im vorliegenden Begriffsverständnis nicht zur produzierenden Industrie und fallen somit nicht in den Bezugsrahmen der Arbeit. Aus Gründen der Vollständigkeit und des weiteren Verständnisses werden diese allerdings kurz erläutert. Die Dienstleistungsproduktion basiert auf der Produktion immaterieller Güter mittels verschiedener Techniken wie der Reparatur, Analyse oder Beratung unter Einbindung eines externen Faktors. [37, 38]

Die zweite Form der immateriellen Produktion ist die Informationsgüterproduktion [39]. Die Leistungserstellung erfolgt dabei durch das Speichern, Transprotieren, Kopieren, Kodieren und Transformieren von zweckgerichtetem Wissen. Im Zuge der Digitalisierung nehmen Informationsgüter eine immer höhere Bedeutung ein. Häufig ist eine Trennung zwischen Stückgütern und Informationsgütern in dieser Form nicht mehr möglich. Ein Smartphone beispielsweise ist ein sogenanntes hybrides Produkt, das sich

aus einem materiellen Bestandteil, der Hardware, und einem immateriellen Bestandteil, der Software, zusammensetzt. Die vollständige Funktion des Produktes kann nur durch die Kombination von materiellen und immateriellen Bestandteilen erreicht werden. [40, 41]

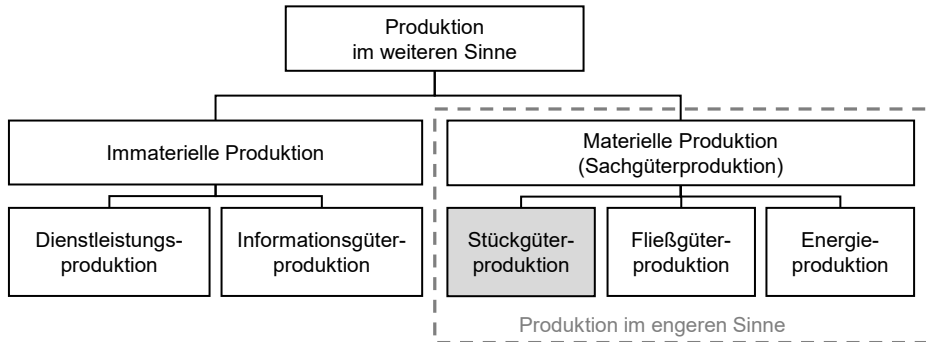


Bild 4: Einteilung der Produktion in Anlehnung an [39, 42]

Der Betrachtungsrahmen wird für den weiteren Verlauf der Arbeit an dieser Stelle von der Sachgüterproduktion noch weiter auf die Stückgüterproduktion eingeschränkt (siehe Hervorhebung in Bild 4). Da Informationsgüter keinem industriellen Produktionsprozess unterliegen, werden auch hybride Güter im Nachfolgenden nur in Bezug auf die Individualisierung der materiellen Leistungsbestandteile berücksichtigt.

2.2.2 Klassifizierung der produzierenden Industrie

Die produzierende Industrie ist von einer starken Vielfalt und Heterogenität geprägt. Dementsprechend gibt es verschiedene Möglichkeiten, diese einzuteilen. Um zum einen sowohl die produzierende Industrie als auch den Betrachtungsrahmen dieser Arbeit weiter einzuschränken und zum anderen weitere relevante Begrifflichkeiten zu erläutern, wird im Folgenden eine Klassifizierung dieser anhand ausgewählter Merkmale vorgenommen.

Klassifizierung nach Märkten

Grundsätzlich ist eine Unterteilung von zwei wesentlichen Märkten innerhalb der produzierenden Industrie notwendig, die sich dahingehend unterscheiden, für welche Art von Kunden Güter produziert und anschließend an diese vertrieben werden. Dabei ist eine Untergliederung in den Business-to-Business (B2B)-Markt sowie den Business-to-Consumer (B2C)-Markt möglich (siehe Bild 5). Der B2C-Markt umfasst die Vermarktung von

Produkten bzw. Leistungen an Endabnehmer und somit die Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen oder Händlern und den Konsumenten [43–45]. Bei den Konsumenten handelt es sich um Einzelpersonen oder private Haushalte. Je nachdem, ob ein Händler zwischen Hersteller und Konsument geschaltet ist, wird von einem direkten oder auch indirekten Vertrieb gesprochen. [46, 47]

Der B2B-Markt bezieht sich auf das Geschäft zwischen zwei oder mehreren Unternehmen, wobei der Kunde nicht der Konsument ist und weitere wertschöpfende Schritte am erworbenen Produkt ausführt oder das Produkt für den eigenen Leistungserstellungsprozess eingesetzt wird. Das bedeutet, Transaktionen im B2B-Markt erfolgen nicht konsumtiv, sondern produktiv oder investiv [48]. Die Rolle des Kunden können neben Unternehmen auch Verbände oder Behörden einnehmen. [49]

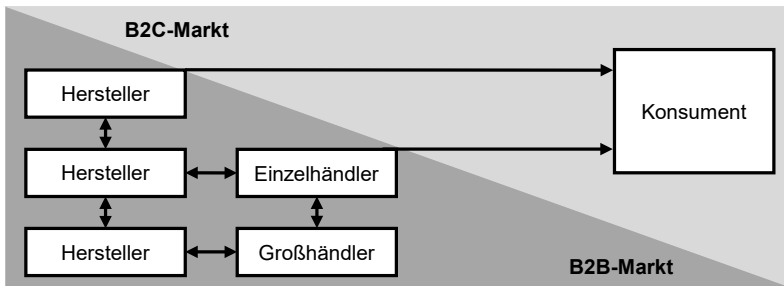


Bild 5: Abgrenzung zwischen B2B- und B2C-Markt in Anlehnung an [44]

Als maßgebliche Unterscheidungskriterien zwischen beiden Märkten können neben der Art der Kunden vor allem die Eigenschaften der Geschäftsbeziehungen hervorgehoben werden. Der B2B-Markt weist häufig langfristige Geschäftsbeziehungen beispielsweise über Rahmenverträge und eine längere Entscheidungsfindung im stark formalisierten Einkaufsprozess aus, wohingegen der B2C-Markt durch deutlich kürzere Geschäftsbeziehungen und Spontanität der Kaufentscheidungen geprägt ist [49–51, 44].

Klassifizierung nach Einsatzzweck der Güter

Aufbauend auf der Einteilung nach Märkten, können Güter auch hinsichtlich ihres Einsatzzweckes untergliedert werden. Die Betrachtung beschränkt sich dabei im Folgenden nur auf Stückgüter (vergleiche Bild 4). Auf Basis der Häufigkeit der Verwendung, ist eine Differenzierung in Gebrauchs- und Verbrauchsgüter möglich.

Bei Gütern, die nur einmalig genutzt werden, handelt es sich um Verbrauchsgüter. Mehrfach oder auch dauerhaft verwendete Güter werden als Gebrauchsgüter bezeichnet. [52, 53]

Darüber hinaus kann gleichzeitig zwischen Konsum- und Industriegütern unterschieden werden. Bei Konsumgütern handelt es sich um Güter, die auf dem B2C-Markt gehandelt werden und somit um Güter, die Endverbraucher für ihre persönliche Nutzung erwerben. Industriegüter werden hingegen auf dem B2B-Markt gehandelt und sind folglich für den kommerziellen Einsatz bestimmt. [47]

Grundsätzlich ist es weiterhin möglich, Konsumgüter noch spezifischer einzuteilen, indem der Routinegrad von Kaufentscheidungen verschiedener Güter betrachtet wird [53]. Dadurch lassen sich Produkte in folgende Kategorien einteilen [53, 47, 54, 55]:

- Güter des täglichen Bedarfs (Convenience Goods)
- Güter des Vergleichseinkaufs (Shopping Goods) und
- Güter des gehobenen Bedarfs (Specialty Goods).

Convenience Goods sind Verbrauchsgüter, die regelmäßig mit einem geringen zeitlichen Aufwand erworben werden, da der Wiederkaufszyklus eher kurz ist. Als Beispiele für Convenience Goods können Lebensmittel oder Zigaretten genannt werden. [47, 56, 57]

Specialty Goods und Shopping Goods sind hingegen für eine langfristige Nutzung bestimmt, werden dementsprechend deutlich seltener gekauft und haben für den Kunden eine höhere Bedeutung. Beide Güterkategorien zählen zu den Gebrauchsgütern. Bei Shopping Goods handelt es sich um sogenannte Suchgüter, wie Kleidung, Haushaltsgeräte oder Möbel, bei welchen der Kunde vorab verschiedene Alternativen vergleicht. Specialty Goods zeichnen sich zudem durch einen einzigartigen Charakter aus. Es handelt es sich in der Regel um hochwertige Luxusgüter wie Werke bekannter Künstler oder Designerartikel, bei welchen dem Kunden bestimmte Merkmale oder der Kauf eines Markenprodukts sehr wichtig sind. [46, 47, 54]

Eine weit verbreitete Einteilung für Industriegüter, die in dieser Form auch vom Statistischen Bundesamt eingesetzt wird, entspricht der Klassifizierung in Vorleistungs- und Investitionsgüter [58].

Bei Vorleistungsgütern, auch als Produktionsgüter bezeichnet, handelt es sich um Verbrauchsgüter [48]. Diese werden von Unternehmen im Leistungserstellungsprozess verbraucht, verarbeitet oder umgewandelt [58].

Vorleistungsgüter lassen sich weiterhin in Roh-, Einsatz-, Hilfsstoffe und Betriebsstoffe sowie Teile untergliedern. [48, 59]

Bei Investitionsgütern hingegen handelt es sich um Gebrauchsgüter [48]. Diese stellen materielle Vermögensgegenstände des Anlagevermögens wie Maschinen und Anlagen dar, welche für die Erstellung von Leistungen benötigt und längerfristig bzw. dauerhaft im Leistungserstellungsprozess eingesetzt werden [60, 61]. In Anlehnung an COPELAND [62] lassen sich diese noch weiter unterteilen, in große Anlagegüter (Installations) wie Anlagen oder auch Gebäude, und in Zusatzausrüstung (Accessory Equipment). Bei der Zusatzausrüstung handelt es sich um kleinere Anlagegüter bzw. Gegenstände wie Werkzeuge [60].

Die gesamte Einteilung der Güterkategorien nach ihrem Einsatzzweck ist in Bild 6 grafisch veranschaulicht. Alle genannten Güterkategorien sind der produzierenden Industrie zuzurechnen und liegen im Betrachtungsrahmen dieser Arbeit.

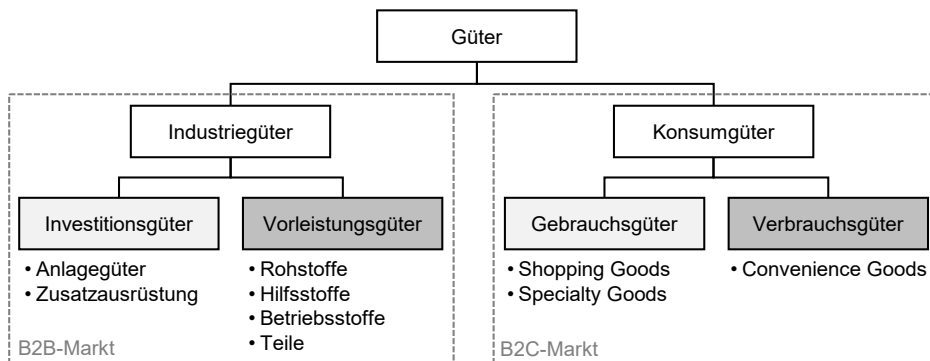


Bild 6: Klassifizierung von Gütern nach ihrem Einsatzzweck

2.3 Bedeutung der Produktindividualisierung

Aufbauend auf die im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Klassifizierungsansätze wird an dieser Stelle die Bedeutung der Produktindividualisierung für den B2C- und B2B-Markt sowie deren zugeordnete Güterkategorien herausgearbeitet. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird anschließend auf die gesamtheitlichen Chancen und Herausforderungen der Produktindividualisierung für die produzierende Industrie eingegangen.

Als Anhaltspunkt für diese Betrachtung wird eine empirische Studie von HILDEBRAND [63] herangezogen, die den Individualisierungsgrad verschiedener Güterkategorien des B2C- und B2B-Marktes untersucht (siehe Bild 7). Gemessen wird der Individualisierungsgrad dabei mit Hilfe eines komplexen Modells an der Individualisierung des Leistungsergebnisses, dem Ausmaß der leistungsbezogenen Integration des Kunden sowie der leistungsbezogenen Interaktion mit dem Kunden.

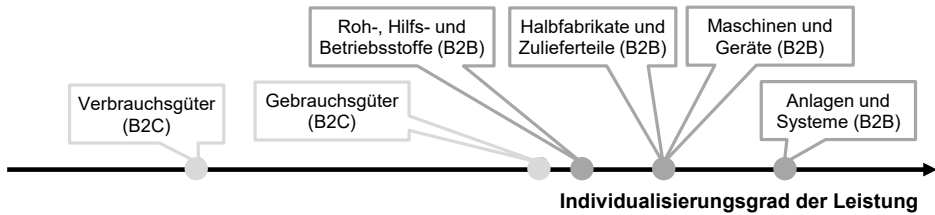


Bild 7: Individualisierungsgrad nach Güterkategorien in Anlehnung an [63]

2.3.1 Produktindividualisierung im B2C-Markt

Produktindividualisierung war auf dem B2C-Markt lange Zeit ein Nischenphänomen, das sich maßgeblich auf Luxusgüter beschränkt hat. Erst mit der Verbreitung des Internets, das die Interaktion zwischen Anbieter und Kunde deutlich einfacher und kostengünstiger gestaltet, spielt die Individualisierung auf dem B2C-Markt tatsächlich eine immer wichtigere Rolle. Diese Entwicklung geht mit dem gestiegenen Anspruchsniveau der Kunden einher, das im gesellschaftlichen Wandel (vgl. Kapitel 2.1.2) begründet liegt. So verfügen Kunden heute über Erwartungen an ein Produkt, die häufig nur durch die Produktindividualisierung erreicht werden können.

Allerdings spielt die Produktindividualisierung nicht für alle Güterkategorien am B2C-Markt die gleiche Rolle. Wie Bild 7 zeigt, weisen Verbrauchsgüter insgesamt den geringsten Individualisierungsgrad auf. Das lässt sich darauf zurückführen, dass es sich hierbei in der Regel um geringwertige Produkte des täglichen Bedarfs handelt, die mit niedrigem Engagement gekauft werden [64].

Eine Ausnahme bilden Geschenke. Die Umwandlung herkömmlicher Verbrauchsgüter in individualisierte Geschenke stellt einen zunehmenden Trend im B2C-Markt dar. Grundlage dafür ist die zunehmende Individualisierung von Verpackung durch den Einzug des Digitaldrucks in die Massenproduktion, sowohl online als auch im stationären Handel. Dies

reicht von Shampoo-Flaschen bis hin zu verschiedenen Lebensmittelverpackungen. Vorreiter ist die Kampagne „Share a Coke“ der Firma Coca Cola., die von 2011 bis 2016 mit großem Erfolg Cola-Flaschen mit aufgedruckten Vornamen verkauft [65]. Grundsätzlich kann dabei jeder Inhalt in Form von Texten und Bildern auf Verpackungen individualisiert werden, das eigentliche Produkt spielt dabei eine untergeordnete Rolle. [66, 67]

Anders verhält sich dies im Bereich der Gebrauchsgüter. Der Individualisierungsgrad dieser ist grundsätzlich deutlich höher als bei Verbrauchsgütern, wie in Bild 7 verdeutlicht wird. Begründet werden kann dies dadurch, dass sich bei langlebigen und teuren Gebrauchsgütern der Aufwand, der mit der Individualisierung eines Produktes einhergeht, durch die lange Nutzungsdauer die Individualisierung von Produkten für den Kunden deutlich mehr auszahlt als bei Produkten, die für die einmalige Verwendung gekauft werden. Bei Gebrauchsgütern kann der Kunde nicht nur auf das Aussehen, sondern auch auf Form und Funktion Einfluss nehmen. [22, 68, 69]

Im Bereich der Specialty Goods ist der Individualisierungsgrad stark ausgeprägt. Möglichkeiten der Produktindividualisierung sind dort schon lange selbstverständlich, dazu zählen zum Beispiel Autos. Bereits 1964 zeichnet sich das erste Modell des Ford Mustang, das mit dem Slogan „The car to be designed by you“ beworben wird, durch seine zahlreichen Individualisierungsmöglichkeiten aus [70].

Eine zunehmende Individualisierung ist auch im Bereich der Shopping Goods zu verzeichnen. Diese bieten ebenso einen guten Ansatzpunkt für die kundenindividuelle Gestaltung. Das gilt in erster Linie für Produkte, die aufgrund ihrer Qualität, ihrer Eignung oder ihres Designs gekauft werden, wie Möbel, Bekleidung und auch Schuhe. [14]

Das KPMG Consumer Barometer 2017 [67] belegt den zunehmenden Trend zur Produktindividualisierung für den B2C-Markt. Ziel der Studie ist die Untersuchung, inwieweit Produktindividualisierung durch den Konsumenten bereits genutzt wird und wo Individualisierungsmöglichkeiten besonders erwünscht sind. Aus der Studie geht hervor, dass bereits 30 Prozent der Befragten individualisierte Produkte gekauft haben und sich darüber hinaus fast 50 Prozent für den Kauf individualisierter Produkte interessieren. Somit stellen nahezu 80 Prozent der Befragten potentielle Kunden für individualisierte Produkte dar, was ein hohes Marktpotential verdeutlicht. Interessant ist dabei, dass sich im Rahmen einer ähnlichen Studie von Deloitte aus dem Jahr 2015 erst rund ein Drittel der Befragten für den Kauf individualisierter Produkte oder Dienstleistungen interessieren [71]. Ähnliche Tendenzen zeigt auch die Plattform egoo.de aus

Verkäuferseite. Diese bietet ein redaktionell geführtes Shop-Verzeichnis aller Anbieter für individualisierte Produkte am deutschen B2C-Markt. Die Plattform ist im Jahr 2008 mit 30 registrierten Anbietern gestartet [72]. Mittlerweile umfasst diese über 600 Hersteller individualisierter Produkte [73]. Dies verdeutlicht, dass nicht nur eine steigende Nachfrage nach individualisierten Produkten vorhanden ist, sondern auch das entsprechende Angebot immer größer wird.

2.3.2 Produktindividualisierung im B2B-Markt

Während im B2C-Markt vor allem in den letzten Jahren ein Trend hin zur Produktindividualisierung zu erkennen ist, weist der B2B-Markt seit jeher einen deutlich höheren Anteil an Individualisierung auf [56]. Darüber hinaus ist PILLER [22] der Auffassung, dass sich der Individualisierungswunsch des Individuums im privaten Bereich auch auf die täglichen Kaufentscheidungen im Berufsalltag, das heißt auf den B2B-Markt, überträgt.

Allerdings steht dort vor allem die Nutzenerwägung im Vordergrund [69]. Kaufentscheidungen und somit auch die Individualisierung von Produkten am B2B-Markt sind funktional und nicht emotional begründet [74]. Der Hauptgrund für Produktindividualisierung im B2B-Markt liegt in der Verwendung des Produktes in der jeweiligen individuellen Wertschöpfungskette des Kunden begründet [75]. Ein Nachfrager im B2B-Markt zieht nur dann ein für ihn kundenindividuell erstelltes Produkt zu einem entsprechend höheren Preis einem vergleichbaren Serienprodukt vor, wenn sich dadurch für diesen entsprechende Vorteile ergeben. Ein solcher Vorteil kann beispielsweise die Einsparung eines Arbeitsschrittes in der Produktion durch die Verwendung entsprechender Vorleistungsgüter oder ein höherer Verkaufspreis für das Endprodukt sein. Ebenso wie am B2C-Markt muss allerdings in Bezug auf die Bedeutung der Produktindividualisierung auch auf dem B2B-Markt zwischen verschiedenen Gütern unterschieden werden. Vor allem der Investitionsgütermarkt zeichnet sich schon immer durch eine hohe Bedeutung sowie einen hohen Anteil individualisierter Produkte aus. Klassische Unternehmen des Anlagenbaus entwerfen seit jeher kundenspezifische Produkte [22]. Ursache ist die Notwendigkeit der individuellen Ausrichtung von Investitionsgütern auf ihren Einsatz in industriellen Fertigungsprozessen und der hohen Verwendungsvielfalt [76]. Bei vielen Investitionsgütern und insbesondere Anlagengütern handelt es sich sogar um sogenannte Kontraktgüter, deren Herstellung ohne Spezifizierung bzw. Mitwirkung durch den Kunden überhaupt nicht möglich oder sinnvoll ist [77].

Halbfabrikate und Zulieferteile, die zu den Vorleistungsgütern zählen, zeichnen sich ebenfalls durch einen hohen Grad an Produktindividualisierung aus (siehe Bild 7). Dabei wirkt sich die Nachfrage nach individuellen Produkten am B2C-Markt auf die vorgelagerten Anbieter von Vorleistungsgütern innerhalb des B2B-Marktes aus, die so in den Individualisierungsprozess mit einbezogen werden [22]. Dies entspricht der sogenannten abgeleiteten bzw. derivativen Nachfrage [60]. Der Individualisierungswunsch des Endkunden wird somit im Wertschöpfungsprozess weitergegeben. Darüber hinaus ist es im Bereich der Zulieferteile typisch, dass für einzelne Abnehmer, unabhängig vom Individualisierungswunsch des Endkunden, individuelle Lösungen entwickelt werden, die auch in hohen Stückzahlen abgenommen werden. [44, 78]

Den niedrigsten Grad an Produktindividualisierung im B2B-Markt weisen laut HILDEBRAND Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe auf. Allerdings muss auch hier beachtet werden, dass diese für einen spezifischen Einsatzzweck in der Wertschöpfungskette des Nachfragers dienen und somit an vielen Stellen eine Produktindividualisierung unvermeidbar ist. Andererseits gibt es in diesem Bereich auch zahlreiche standardisierte und genormte Produkte, die auf dem anonymen Markt verkauft werden [44].

Für den B2B-Markt gibt es deutlich weniger aussagekräftige Studien im Bereich der Produktindividualisierung als im B2C-Bereich. Neben der Studie von HILDEBRANDS [63] gibt es eine weitere Untersuchung, die belegt, dass Unternehmen des B2B-Marktes bereits vor über 20 Jahren der Individualisierung eine hohe Bedeutung zusprachen. Diese im Jahr 1993 von JACOB [75] an der Freien Universität Berlin durchgeführte Studie zeigt, dass zum Zeitpunkt der Befragung Produktindividualisierung jedoch hauptsächlich bei der Beschaffung von Investitionsgütern eine wichtige Rolle spielt. Die Bedeutung der Produktindividualisierung im Bereich der Vorleistungsgüter wird geringer eingeschätzt. Die befragten Mitarbeiter gehen dennoch sowohl für Investitionsgüter, als auch für Vorleistungsgüter, von einer zunehmenden Bedeutung der Produktindividualisierung aus.

Insgesamt wird deutlich, dass die Produktindividualisierung am B2B-Markt eine tragende Rolle spielt. Die öffentliche Diskussion über die zunehmende Individualisierung fokussiert jedoch häufig meist nur den B2C-Markt und die Bedürfnisse der Endkunden. Dennoch ist die Bedeutung der Produktindividualisierung für den B2B-Markt nicht von der Hand zu weisen. [P1] Vor allem für Investitionsgüter und Zulieferteile besteht häufig eine funktional begründete Notwendigkeit der Produktindividualisierung, die über

das emotional motivierte Bedürfnis nach individualisierten Produkten am B2C-Markt hinausgeht.

2.3.3 Chancen und resultierende Herausforderungen der Produktindividualisierung

Die Produktindividualisierung birgt Chancen und auch Herausforderungen. Die gesellschaftlichen Entwicklungen zeigen, dass Kunden zunehmend anpassungsfähige oder maßgeschneiderte Lösungen fordern, die sie selbst mitgestalten können. Auch wenn es schwer ist, auf Basis dieser steigenden Kundenerwartungen, zukünftige Marktanteile für individualisierte Produkte abzuschätzen und davon auszugehen ist, dass weiterhin ein großer Markt mit Standardprodukten bedient wird, zeigen die in Kapitel 2.3.1 aufgeführten Studien, dass definitiv Potential für das Angebot individualisierter Produkte vorhanden ist. Allerdings ist dabei eine Fokussierung auf Güterkategorien, in denen Produktindividualisierung eine entsprechende Bedeutung einnimmt, notwendig.

Für die deutsche produzierende Industrie bietet die Produktindividualisierung vor allem eine Möglichkeit auch weiterhin auf dem internationalen Markt konkurrenzfähig zu bleiben. Während sich die Produktion von Standard- und Massenprodukten zunehmend in Länder mit einem günstigeren Lohnniveau verlagert, erfordert doch die Individualisierung von Produkten eine gewisse Kundennähe. Zum einen wird so eine bessere Interaktion mit dem Kunden, dessen Wünsche es zu erfassen gilt, ermöglicht, zum anderen können so Reaktions- und Lieferzeiten geringgehalten werden. Ein führender deutscher Sportartikelhersteller hat dies bereits erkannt und beginnt Sportschuhe auf Kundenwunsch mit kurzen Lieferzeiten in Deutschland zu produzieren [79]. Allerdings stehen Unternehmen vor der Herausforderung der operativen Umsetzung der Produktindividualisierung. Um eine breite Masse an Kunden mit individuellen Produkten zu bedienen, müssen entsprechende Voraussetzungen geschaffen werden. Es bedarf neben einem entsprechenden Produktportfolio mit individualisierungsgerechten Produktstrukturen einer effizienten Auftragsabwicklung sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Produktion. Entwicklungsprozesse müssen auftragsbezogen gestaltet werden und eine störungsfreie Integration des Kunden in die Leistungsdefinition ermöglichen [69]. In der Produktion besteht eine zunehmende Forderung nach Flexibilität, die über das Konzept der klassischen Einzelfertigung hinausgeht und eine deutlich effizientere Fertigung individualisierter Produkte ermöglicht [80]. Die technologischen Entwicklungen im Rahmen der vierten

industriellen Revolution bieten neue Möglichkeiten und Konzepte, die im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt werden.

2.4 Einfluss des technologischen Wandels

Neben den Einflussgrößen seitens Gesellschaft und Markt (siehe Kapitel 2.1) unterliegt die produzierende Industrie zusätzlich einem ständigen technologischen Wandel. Insgesamt können vier industrielle Revolutionen unterschieden werden, die für den sukzessiven technologischen Fortschritt in der produzierenden Industrie verantwortlich sind und neue Möglichkeiten in der Produktindividualisierung schaffen. Nachfolgend wird zunächst ein allgemeiner Überblick über die industriellen Revolutionen gegeben, bevor im Detail auf die vierte industrielle Revolution und deren Rolle im Kontext der Produktindividualisierung eingegangen wird.

2.4.1 Übersicht über die industriellen Revolutionen

Die erste industrielle Revolution hat ihren Ursprung in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts in Großbritannien und ist maßgeblich von der Entwicklung der Dampfmaschine und der damit verbundenen Entwicklung mechanischer Produktionsanlagen geprägt. Mittels dieser Anlagen können bisher manuell verrichtete Tätigkeiten durch Wasser- und Dampfkraft mechanisiert werden. [81, 82]

Ende des 19. Jahrhunderts beginnt die zweite industrielle Revolution. Diese ist geprägt durch die industrielle Fließbandproduktion und das Konzept der arbeitsteiligen Massenproduktion. Parallel dazu werden elektrische Antriebe und Verbrennungsmotoren entwickelt, sodass eine dezentrale Energieversorgung der Produktionsanlagen ermöglicht wird, die eine wichtige Voraussetzung für die Fließbandproduktion darstellt. [83, 84]

Die dritte industrielle Revolution, die auch als Beginn der flexiblen Automatisierung bezeichnet wird, nimmt ihren Anfang in den 1960er Jahren. Diese ist durch den Einzug von Elektronik und Informationstechnologie in die Produktion geprägt, welcher maßgeblich auf der Entwicklung des Computers basiert. Speicherprogrammierte Steuerungen ermöglichen den Einsatz numerisch gesteuerter Arbeitsmaschinen wie NC-Maschinen und Industrieroboter, die sich vor allem durch eine schnelle Umrüstbarkeit auszeichnen. So können bisher manuell durchgeführte Tätigkeiten automatisiert werden. [85, 86]

Anfang des 21. Jahrhunderts eröffnet sich für die industrielle Produktion eine neue Perspektive, die im weiten Verständnis als die vierte industrielle Revolution gesehen wird [85, 87]. Im Jahr 2011 fällt in diesem Kontext zum ersten Mal der Begriff „Industrie 4.0“ auf der Hannover Messe [88]. Seitdem ist der Begriff in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik stets präsent und wird nahezu inflationär verwendet. Als Grundlage für Industrie 4.0 wird die Vernetzung und Verschmelzung der realen und virtuellen Welt durch das Internet der Dinge und Dienste auf Basis cyber-physischer Systeme (CPS) gesehen [89]. Neben diesem allgemeinen Grundverständnis von Industrie 4.0 existiert jedoch keine einheitliche Definition. Vor allem der eigentliche zusätzliche Mehrwert und Nutzen der vierten industriellen Revolution ist noch weitestgehend unklar.

Zusammenfassend kann der Verlauf der vier industriellen Revolutionen in einem einfachen Modell dargestellt werden. Während die meisten Publikationen auf das klassische Stufenmodell zurückgreifen (siehe beispielsweise [83]), wird hier ein neuer Ansatz vorgestellt (siehe Bild 8). Grundlage für die Darstellung sind die beiden zentralen Ressourcen Material und Information. Die erste industrielle Revolution zeichnet sich durch die maschinelle Verarbeitung von Material mittels Dampfmaschinen aus, während die zweite industrielle Revolution durch die Einführung des Fließbandes auf eine Vernetzung von Material durch die Gestaltung von Materialflusssystemen abzielt. Die dritte industrielle Revolution stellt den Beginn des Einsatzes von Computern in der Fertigung in Form von Automatisierungssystemen dar. Im Kern der vierten industriellen Revolution steht die Gestaltung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen entlang des gesamten Produktlebenszyklus durch die Vernetzung von Informationen und Gewinnung von Wissen [90].

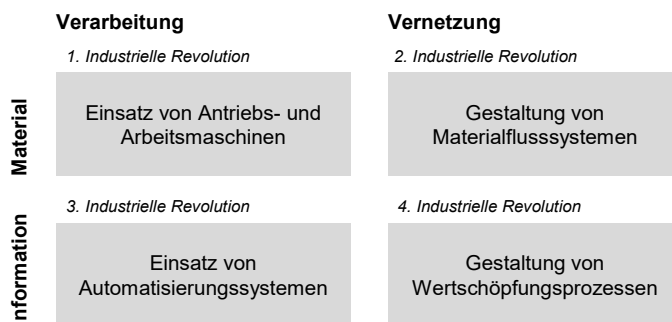


Bild 8: Verlauf der industriellen Revolutionen

2.4.2 Chancen der vierten industriellen Revolution

Die vierte industrielle Revolution unterscheidet sich durch ein zentrales Merkmal von den vorherigen Revolutionen. Während sich die ersten drei Revolutionen auf die Produktion und Effizienzsteigerungen innerhalb der Produktionssysteme fokussieren, bezieht sich die vierte industrielle Revolution auf den gesamten Wertschöpfungsprozess entlang des Lebenszyklus eines Produktes von der Idee und Produktentwicklung über die Produktion bis hin zur Nutzung und dem Service [90].

Wie aus den vorangegangenen Ausführung deutlich wird, besitzen die ersten drei industriellen Revolutionen einen eindeutigen Auslöser in Form einer disruptiven technischen Innovation [91]. Die vierte industrielle Revolution hingegen ist nicht durch einen zentralen Befähiger geprägt. Vielmehr lassen sich hier eine Vielzahl verschiedener Befähiger aufzählen, wobei keine Aufzählung mit Anspruch auf Vollständigkeit existiert. Als zentrale Handlungsfelder können jedoch neben cyber-physischen Systemen (CPS) vor allem cloud- und dienstebasierte Plattformen und Technologien der Big Data-Analytik genannt werden [92].

Als gemeinsames Merkmal der drei Befähiger kann die Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Bereitstellung von Daten und Informationen herausgestellt werden. Dies führt zur Annahme, dass nicht die einzelnen Technologien im Mittelpunkt von Industrie 4.0 stehen, sondern vielmehr die gezielte Gewinnung und Handhabung von Daten und Informationen. Da Daten und Informationen alleine keinen wirtschaftlichen Mehrwert schaffen, ist es notwendig, aus der Menge der vorhandenen Daten und Informationen Wissen zu generieren, um daraus Wettbewerbsvorteile zu erschließen. [P2] Dies wiederum stützt die oben postulierte These, dass im Kern der vierten industriellen Revolution die Vernetzung von Informationen und somit die Generierung von Wissen steht, das dann wiederum zur Optimierung von Produkten und Gestaltung und Steuerung von Wertschöpfungsketten genutzt wird. Diese Schlussfolgerung wird ebenso von KÖHLER-SCHUTE et al. [93] sowie einer Studie der Unternehmensberatung PwC [94] unterstützt. In beiden Veröffentlichungen werden jeweils Daten als das zentrale Element von Industrie 4.0 gesehen. MANZEI [95] stellt ebenfalls als wesentliche Mechanismen der Industrie 4.0 die dynamische Verknüpfung von internen und externen Informationsquellen, die automatische Analyse und die Weitergabe von erfassten Daten und Informationen heraus.

Bei einer detaillierteren Untersuchung der Befähiger zeigt sich, dass es sich bei diesen nicht um grundsätzlich neue Entwicklungen, sondern um Technologien handelt, die bereits vor dem Beginn des Industrie 4.0-Zeitalters existierten und kontinuierlich weiterentwickelt wurden [S2]. Aus diesem Grund wird häufig diskutiert, ob es sich bei Industrie 4.0 nicht vielmehr um eine kontinuierliche Entwicklung, also eine Evolution, als um eine Revolution handelt. Auch der Aspekt der informationstechnischen Vernetzung innerhalb eines Unternehmens ist nicht neu. Bereits im Rahmen des Computer Integrated Manufacturing (CIM) in den 1980er Jahren sollen vorhandene informationstechnische Insellösungen im Unternehmen miteinander vernetzt werden. Diese Vernetzung war nur zum Teil erfolgreich, da es an passenden Technologien scheiterte [92]. Ein zentraler Aspekt der Industrie 4.0, der davor bereits viele Bereiche des alltäglichen Lebens erreicht hat, ist die Nutzung von Internettechnologien. Diese und auch andere Schlüsseltechnologien waren zu Zeiten des CIM noch nicht vorhanden. [96]

Zur Beschreibung der zentralen Inhalte und Ziele der Industrie 4.0 werden zwei Sichtweisen vorgestellt. Im Zentrum beider Darstellungen steht jeweils der Wertschöpfungsprozess entlang des Produktlebenszyklus. Die erste Sichtweise fokussiert die Vernetzung von Ressourcen und Prozessen. Denn während es sich bei CIM um einen sehr zentral orientierten und unternehmensintern ausgerichteten Planungsansatz handelt, zeichnet sich Industrie 4.0 durch dezentrale Strukturen und eine Vernetzung über die Unternehmensgrenzen hinweg aus. Die Umsetzung von Industrie 4.0 fokussiert dabei die Schwerpunkte der horizontalen Vernetzung durch den Aufbau von Wertschöpfungsnetzwerken, der vertikalen Vernetzung über alle Hierarchieebenen innerhalb des Unternehmens sowie der digitalen Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Produktionssystemen und die darauf aufbauende Verschmelzung von virtueller und realer Welt. [87, P3]

Ein weiterer Aspekt der Industrie 4.0 ist neben der Vernetzung auch die darauf aufbauende Nutzung von Daten. Denn in Unternehmen fallen häufig große Daten- und Informationsmengen an, die zwar gespeichert, aber nicht analysiert und weiterverwendet werden [97]. Durch die Ansätze der Industrie 4.0 werden immer mehr relevante Daten und Informationen entlang der Wertschöpfungsketten gewonnen und nutzbar gemacht, indem diese allen an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen echtzeitnah zur Verfügung gestellt werden [90, P3].

Zudem kann aus den gewonnen Daten und Informationen wertvolles Wissen generiert werden, das als wichtige Ressource die Gestaltung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen eingesetzt werden. Wichtig ist hier vor allem, übergeordnete Regelkreise zu schaffen, die es ermöglichen aus dem gewonnen Wissen zu lernen und Wertschöpfungsprozesse kontinuierlich zu optimieren (siehe Bild 9).

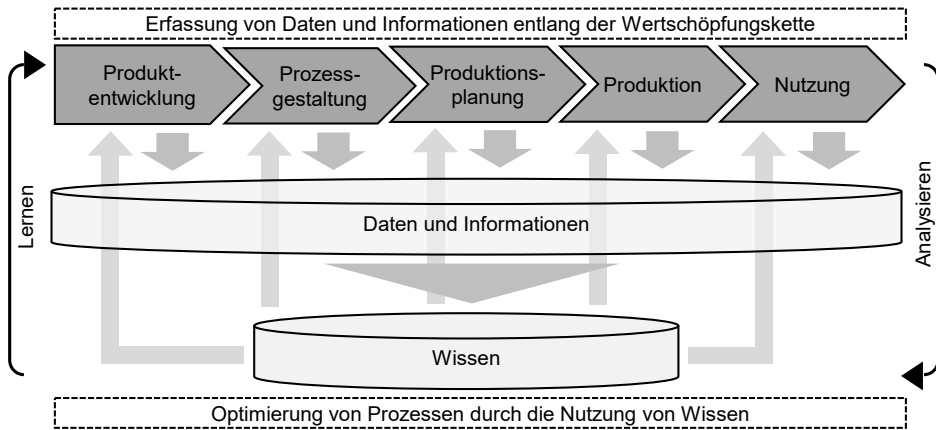


Bild 9: Wissensbasierte Regelkreise der Industrie 4.0

2.4.3 Bedeutung für die Produktindividualisierung

Die flexible Automation gilt als Befähiger der variantenreichen Serienproduktion in der dritten industriellen Revolution, wobei maßgeblich der Produktionsprozess als Bereich der direkten Leistungserstellung fokussiert wird. Die Paradigmen der Industrie 4.0 gehen darüber hinaus. Im Kontext der Industrie 4.0 wird die Fertigung kundenindividueller Produkte in den Vordergrund gerückt, die dem Kunden ermöglichen soll, nicht mehr nur zwischen einer Vielzahl aus Varianten das Produkt auszuwählen, dass am ehesten seinen Bedürfnissen entspricht, sondern ein Produkt nach seinen Wünschen zu gestalten.

Dafür ist allerdings ein Flexibilitätskonzept notwendig, das über den Produktionsprozess hinausgeht, Bereiche der indirekten Leistungserstellung mit einbezieht und eine intensive Gewinnung und Nutzung von Wissen über alle Prozesse hinweg anstrebt. Eben dies wird mit der übergreifenden Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 angestrebt. [P4]

Wird davon ausgegangen, dass Schnittstellen zwischen einzelnen Systemen keine Hürde mehr darstellen, eine dynamische und automatisierte Vernetzung zwischen aller am Wertschöpfungsprozess beteiligten Instanzen möglich ist und zukünftig alle notwendigen Informationen dort vorliegen, wo sie benötigt werden, führt dies zu völlig neuen Abläufen und schafft eine neue Stufe der Flexibilität im Unternehmen [95]. Dies umfasst die Flexibilisierung aus organisatorischer Sicht als auch auf physikalischer Ebene in den Produktionssystemen. Daraus resultieren schnellere und optimierte Entscheidungsprozesse sowie eine Beschleunigung in der Umstellung von Fertigungsprozessen, die eine flexiblere und effizientere Nutzung von Produktionsressourcen ermöglicht. [98]

Dementsprechend besteht die These, dass im Rahmen von Industrie 4.0 dem Thema Produktindividualisierung besser begegnet werden kann. Denn mittels Industrie 4.0 soll so die Möglichkeit geschaffen werden, spezielle Kundenwünsche reibungslos in den betrieblichen Ablauf zu integrieren [95]. Pauschale Aussagen über die konkreten Potentiale der Industrie 4.0 in Bezug auf die Produktindividualisierung sind jedoch aufgrund der dargelegten Heterogenität innerhalb der produzierenden Industrie schwierig. Daher gilt es zunächst die Herausforderungen in der Umsetzung von Produktindividualisierung und die verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung über die produzierende Industrie hinweg im Detail zu betrachten. Dies ist Bestandteil der nachfolgenden beiden Kapitel. Eine ausführliche Betrachtung der Möglichkeiten von Industrie 4.0 in Bezug auf die Produktindividualisierung wird aufbauend auf das in Kapitel 4 entwickelte Modell zur Strukturierung der verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung in Kapitel 6 der Arbeit vorgenommen.

2.5 Zusammenfassung

Innerhalb der produzierenden Industrie gibt es zahlreiche Aspekte, welche auf die Produktindividualisierung wirken (siehe Bild 10). Das Kapitel versucht, ein umfassendes Bild der verschiedenen Voraussetzungen, Entwicklungen und Treiber zu schaffen und so die Ausgangssituation zu skizzieren. Dabei sind vor allem folgende Punkte hervorzuheben:

- Die produzierende Industrie nimmt eine bedeutende Stellung innerhalb der deutschen Wirtschaft ein. Gleichzeitig ist diese durch eine große Heterogenität geprägt, welche sich nicht nur auf die hergestellten Produkte, sondern vielmehr auf die vorhandenen Produktionsstrategien bezieht. Dies erschwert besonders die Ableitungen von allgemeinen Aussagen.

- Daneben hat die Nachfrage nach individualisierten Produkten unterschiedliche Treiber. Dies sind zum einen gesellschaftliche und auch marktseitige Entwicklungen, die Auslöser für die emotional begründete Individualisierung im Konsumgütermarkt sind. Zum anderen existiert auf dem Industriegütermarkt eine funktionale Notwendigkeit der Produktindividualisierung, die sich aus der Weiterverwendung in der Wertschöpfungskette des Nachfragers ergibt.
- Aus der Betrachtung wird die zunehmende Bedeutung der Produktindividualisierung über die produzierende Industrie hinweg deutlich, die sich allerdings zwischen den Güterkategorien in ihrer Gewichtung unterscheiden.
- Technologische Entwicklungen der Industrie 4.0 stellen Befähiger für die Produktindividualisierung dar und sollen zukünftig eine wirtschaftliche Fertigung individualisierter Produkte ermöglichen.

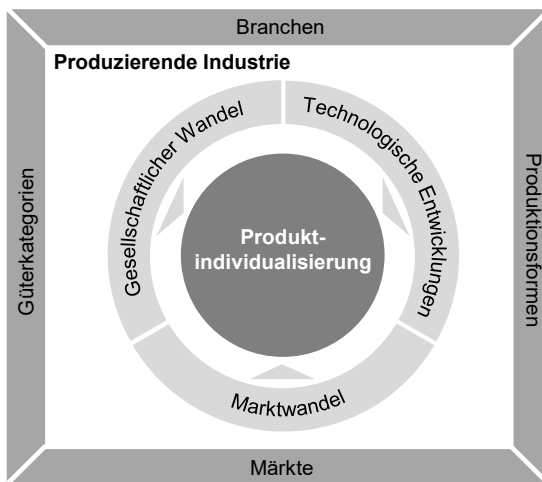


Bild 10: Produktindividualisierung im Umfeld der produzierenden Industrie

3 Ansätze und Herausforderungen der Umsetzung von Produktindividualisierung

Das vorliegende Kapitel gibt einen Überblick über die wesentlichen konzeptionellen Grundlagen der Produktindividualisierung. Zunächst wird eine Begriffsdefinition und Abgrenzung des Begriffes von verwandten Konzepten durchgeführt. Darauf aufbauend werden die wesentlichen inhaltlichen Teilaspekte der Umsetzung von Produktindividualisierung näher beleuchtet und Methoden zum Management von Produktindividualisierung vorgestellt. Abschließend werden bestehende Modelle zur Beschreibung von Individualisierungsstrategien vorgestellt und bewertet. Diese Bewertung dient der Ableitung von Anforderungen und des Handlungsbedarfs für den weiteren Verlauf der Arbeit.

Die Betrachtung dieser theoretischen Grundlagen stellt einen wesentlichen Bestandteil des Design Science-Ansatzes dar. So kann zum einen die vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse genutzt und zum anderen eine Abgrenzung von bereits vorhandenen Forschungsarbeiten durchgeführt werden.

3.1 Begriffsklärung

Für eine weitere Betrachtung ist zunächst eine umfassende Begriffsklärung erforderlich. Zudem gibt es verschiedene Begriffe und Konzepte, die es abzugrenzen gilt, um Missverständnisse zu vermeiden. Daher wird im Nachfolgenden erläutert, was im Rahmen dieser Arbeit im Detail unter Produktindividualisierung und einer Individualisierungsstrategie zu verstehen ist.

3.1.1 Analyse des Individualisierungsbegriffes

Der Begriff der Individualisierung hat, wie bereits in Kapitel 2 angeführt, seinen Ursprung in der Soziologie und bezeichnet den Prozess des Übergangs eines Individuums von der Fremd- hin zur Selbstbestimmung [99, 100]. Darüber hinaus wird die Individualisierung auch allgemein als die „Verschiebung eines oder mehrerer Objekte oder Subjekte in Richtung Einzigartigkeit“ [68] definiert.

Im betriebswirtschaftlichen Kontext wird mit dem Begriff der Individualisierung meist die Produktindividualisierung bezeichnet [101]. Ein Produkt an sich ist grundsätzlich als Eigenschaftsbündel zu verstehen, das einem konkreten oder anonymen Nutzer zur Befriedigung seiner Bedürfnisse zur Verfügung gestellt wird [102]. Durch die Produktindividualisierung findet eine bewusste und gewollte Gestaltung des Produktes hinsichtlich der Nutzung durch ein Individuum statt [68]. Mindestens ein Teil der Produkteigenschaften wird dabei durch Interaktion mit dem Kunden festgelegt und die Anforderungen des einzelnen Kunden werden individuell bei der Wertschöpfung berücksichtigt. So wird gezielt die Anonymität des Kunden gegenüber dem Anbieter aufgehoben. [21, 69]

Der Begriff der Produktindividualisierung bezeichnet sowohl den Vorgang der Individualisierung als auch das Ergebnis dieses Vorgangs [103]. Dieser Vorgang der Umsetzung von Produktindividualisierung umfasst mehrere wesentliche Wertschöpfungsschritte. Ausgangspunkt stellt dabei immer ein Kundenwunsch dar, den es in ein individualisiertes Produkt umzusetzen gilt. SCHACKMANN definiert aus dieser Sichtweise heraus ein individuelles Gut als Leistungsbündel, das sich, wie Bild 11 zeigt, aus den Teilleistungen Leistungsspezifikation, Leistungszuordnung und Leistungserbringung zusammensetzt [104].

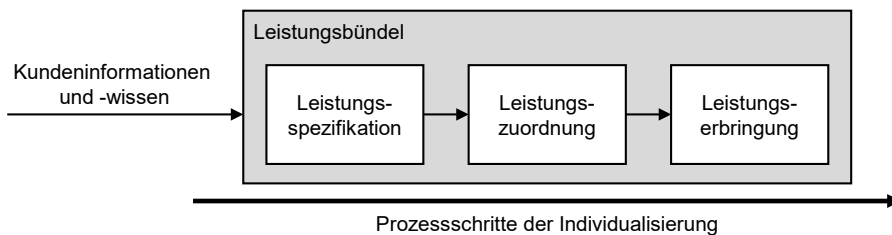


Bild 11: Individualisierung als Leistungsbündel in Anlehnung an [104]

BAUMBERGER vertritt eine weitestgehend deckungsgleiche Ansicht, wählt allerdings andere Begrifflichkeiten, und bezeichnet die drei Leistungsbestandteile der Produktindividualisierung als Kundenintegration, individuelle Leistungsgestaltung und individuelle Leistungserstellung [69]. Für den weiteren Verlauf der Arbeit werden so die Integration des Kunden, die Produktdefinition im Rahmen der Produktentwicklung sowie die Produktion als zentrale Leistungskomponenten der Produktindividualisierung definiert und für die nähere Betrachtung der Produktindividualisierung herangezogen.

Als Ergebnis der Produktindividualisierung wird das **individualisierte Produkt** gesehen. Im Zuge des Individualisierungsprozesses werden seitens des Anbieters in der Regel nur diejenigen Leistungskomponenten individualisiert, die für den Kunden tatsächlich von Bedeutung sind. Bei den anderen Komponenten wird auf standardisierte Leistungskomponenten zurückgegriffen. [99] In der Realität existieren so zahlreiche Abstufungen von Produkten, die unterschiedliche Anteile an individualisierten und standardisierten Bestandteile aufweisen [105]. Die Produktindividualisierung kann folglich ein unterschiedliches Ausmaß haben. Der Umfang der Produktindividualisierung ist im Rahmen dieser Arbeit weiter gefasst als in anderen Definitionen. Während einige Autoren unter Produktindividualisierung nur Produkte mit tatsächlich individualisierten Bestandteile verstehen, wird auch die kundenbezogene Variantenproduktion mit unter den Begriff Produktindividualisierung gefasst [106]. Dabei handelt es sich um eine kundenindividuelle Kombination standardisierter Leistungskomponenten [107]. Auch wenn das Endprodukt keine individualisierten Komponenten enthält, so weist der Individualisierungsprozess doch kundenindividuelle Leistungsbestandteile auf. Damit grenzt sich die kundenbezogene deutlich von der anonymen Variantenproduktion ab, die lediglich eine prognosebasierte Produktion vordefinierter Varianten für den anonymen Markt vorsieht und somit nicht als Produktindividualisierung aufgefasst werden kann.

3.1.2 Abgrenzung von verwandten Begriffen

In der Literatur werden verschiedene Begriffe, die sich auf die Thematik der Produktindividualisierung beziehen, synonym verwendet. Dazu zählen die Begriffe der Anpassung, Customization und Personalisierung. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich allerdings, dass diese in ihrer Bedeutung keineswegs äquivalent sind. Zudem existieren teilweise heterogene Auffassungen der Begrifflichkeiten, die eine einheitliche Definition erschweren [101]. Um ein allgemeines Verständnis für den weiteren Verlauf der Arbeit zu schaffen, ist eine Abgrenzung der Produktindividualisierung von diesen angrenzenden Ansätzen kundenbezogener Leistungserstellung erforderlich.

Anpassung und Customization

Der Begriff der Anpassung wird häufig in Verbindung mit der Produktindividualisierung verwendet, weshalb deren Zusammenhang näher betrachtet wird. Daneben wird auch in der deutschsprachigen Literatur an zahlreichen Stellen der englische Begriff „Customization“ eingesetzt. Wörtlich

kann „Customization“ mit (kundenindividueller) Anpassung übersetzt werden. Im weit verbreiteten Verständnis wird dieser jedoch synonym für Individualisierung eingesetzt, das auch dieser Arbeit zugrunde gelegt wird.

Im allgemeinen Sprachgebrauch bedeutet „anpassen“ so viel wie sich einstellen auf jemanden oder etwas und angleichen. Eine Anpassung von Produkten kann grundsätzlich in verschiedener Hinsicht stattfinden. Zum einen existiert die Produkthanpassung im Kontext der Veränderung eines Produktes, um es beispielsweise an lokale Gegebenheiten anzupassen. Dies kann allerdings auch eine grundsätzliche Anpassung eines Produktes aufgrund veränderter Kundenbedürfnisse am Markt sein, die aus verstärkten Anfragen nach bestimmten Funktionalitäten oder beispielsweise Marktforschungsumfragen hervorgehen. Dies umfasst eine allgemeine Anpassung im Produktportfolio. Ein Bezug zu einem einzelnen Kunden ist hier in der Regel nicht vorhanden. Des Weiteren kann allerdings auch eine kundenspezifische Anpassung eines Produktes in der Produktentwicklung stattfinden. Diese Form der Anpassung fällt in den Bereich der Produktindividualisierung und wird im weiteren Verlauf der Arbeit noch näher betrachtet (vergleiche Kapitel 4.4).

Ebenfalls unter den Begriff der Anpassung fallen allerdings auch Aktivitäten, die nach dem Kauf eines Produktes stattfinden und somit außerhalb des eigentlichen Wertschöpfungsprozesses liegen. Dies umfasst alle Veränderungen, die auf Basis der spezifischen Kundenanforderungen nach dem Kauf eines Produktes durchgeführt werden. Somit hat der Kunde bei einer Produkthanpassung keine Möglichkeit, Einfluss auf den Fertigungsprozess zu nehmen, denn zum Zeitpunkt der Anpassung ist der eigentliche Wertschöpfungsprozess bereits abgeschlossen [108]. Allerdings werden bestimmte Produkteigenschaften in der Produktion offen gelassen, die dann jeweils beim Kauf gestaltet werden können [22]. Diese Anpassung kann durch den Hersteller, den Handel, einen Dienstleister oder den Kunden selbst durchgeführt werden.

In der Regel wird vor allem im Kontext der Mass Customization in der Literatur eine andere Abgrenzung vorgenommen. Häufig wird hier zwischen Hard Customization und Soft Customization unterschieden [25, 109]. In der deutschsprachigen Literatur wird Hard Customization auch als geschlossene Individualisierung und Soft Customization als offene Individualisierung bezeichnet [69]. Bei der Hard Customization findet eine Produktindividualisierung während des Fertigungsprozesses statt, während die Soft Customization eine Individualisierung außerhalb des produzierenden Unternehmens vorsieht. Dementsprechend umfasst die Hard

Customization die Herstellung individualisierter Produkte, die Soft Customization hingegen die Herstellung von Standardprodukten, die jedoch eine bereits vorgedachte Option zur Individualisierung beinhalten. [25, 110]

Personalisierung

Der Begriff der Personalisierung stammt ursprünglich aus dem Bereich des Customer Relationship Management und fasst grundsätzlich Marketingmaßnahmen zusammen, die auf eine persönliche Ansprache von Kunden abzielen. Im Fokus steht dabei die Verwertung von Kundendaten mit dem Ziel die Kundenbeziehung und das Kundenverhalten zu beeinflussen. [111] Die moderne Informations- und Kommunikationstechnik eröffnet die Möglichkeit, Kundenprofile zu erstellen und auf deren Basis eine gezielt auf den einzelnen Kunden abgestimmte Kommunikation zu verwirklichen. [112, 113, 104]

So wird versucht zum Kauf von Produkten anzuregen, die dem Kunden auf Basis seines Profils angeboten werden. Dabei handelt es sich jedoch in der Regel um ein Angebot standardisierter Produkte, die entsprechend eines Empfehlungssystems dem jeweiligen Kundenprofil zugeordnet werden. Neben personalisierten Angeboten kann dem Kunden auch ein personalisierter Preis offeriert werden, um die Kaufbereitschaft anzuregen. Mittels der Reaktion des Kunden auf das unterbreitete Angebot können neue Kundendaten erhoben und das Vorgehen iterativ wiederholt werden. [114]

Einige Autoren wie HILDEBRAND [63], PILLER [22] und GAUSMANN [115] unterscheiden zwei Dimensionen der Individualisierung und wenden den Individualisierungsbegriff sowohl für die Individualisierung des Leistungsangebots als auch die Individualisierung der Beziehung zwischen Anbieter und Nachfrager an. Während die Individualisierung des Leistungsangebots die Produktindividualisierung im eigentlichen Sinne beschreibt, zielt die Individualisierung der Kundenbeziehung auf die entsprechende Kommunikation zwischen Anbieter und Nachfrager ab und beschreibt somit den Begriff der Personalisierung. Aus dieser Sicht heraus kann die Personalisierung als Dimension der Individualisierung gesehen werden. Allerdings ist eine synonyme Verwendung des Begriffes Personalisierung im Kontext der Produktindividualisierung nicht korrekt. Die Personalisierung in der Kundenkommunikation schließt dennoch den Verkauf individualisierter Produkte nicht aus, allerdings ist die Personalisierung nicht zwangsläufig an eine Produktindividualisierung gekoppelt.

3.1.3 Definition der Individualisierungsstrategie

Der Begriff der Individualisierungsstrategie wird zwar beispielsweise in Verbindung mit Mass Customization und auch von Backhaus [116] im Bereich des Industriegütermarketings eingesetzt, aber nie grundsätzlich dargelegt und beschrieben. Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit an dieser Stelle den Begriff Individualisierungsstrategie zunächst einzuordnen und zu definieren. Dazu wird zunächst der generelle Strategiebegriff betrachtet. Eine allgemein etablierte Definition existiert auch hier nicht [117]. Eine dennoch weit verbreitete Definition stammt von MINTZBERG, der Strategie als ein bewusst gewähltes Regelwerk beschreibt, das Entscheidungen für die Zukunft festlegt [118]. CHANDLER [119] geht jedoch darüber hinaus und ordnet dem Strategiebegriff nicht nur die Aufgabe des Festlegens langfristiger Ziele, sondern auch des Ergreifens von Maßnahmen und der Ressourcenverteilung zu, um diese Ziele zu erreichen.

Im Unternehmenskontext können zwei grundsätzliche Strategiearten unterschieden werden. Zum einen die Wettbewerbsstrategien, die grundsätzliche Möglichkeiten beschreiben, wie sich Unternehmen erfolgreich am Markt platzieren können und zum anderen die Unternehmensstrategie, die das Betätigungsfeld eines Unternehmens festlegt und somit beschreibt, wo sich ein Unternehmen am Markt platziert. Wettbewerbsstrategien sind vorformulierte Strategievorschläge oder Grundverhaltensweisen zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen am Markt. Den wohl verbreitetsten Ansatz stellen die generischen Wettbewerbsstrategien nach Porter [120] dar. Dieser unterscheidet die grundlegenden Wettbewerbsstrategien Kostenführerschaft, Differenzierung und Fokussierung entweder mit Kosten- oder Differenzierungsschwerpunkt (siehe Bild 12). [121, 122]

		Wettbewerbsvorteile	
		niedrige Kosten	Differenzierung
Wettbewerbsfeld	Gesamtmarkt	Kostenführerschaft	Differenzierung
	Nische	fokussierte Kostenführerschaft	fokussierte Differenzierung

Bild 12: Wettbewerbsstrategietypen nach PORTER [120, 123]

Die Unternehmensstrategie hingegen ist eine langfristig orientierte Entscheidung darüber, in welchen Branchen oder Märkten ein Unternehmen tätig sein soll [125]. Aus Gesamtunternehmenssicht lassen sich nach WHEELWRIGHT [126] grundsätzlich drei Strategieebenen unterscheiden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Strategieebenen im Unternehmen in Anlehnung an [127, 121, 120, 124, 128]

Strategieebene	Merkmale
Unternehmensstrategie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definition der Tätigkeitsbereiche (Geschäftsfelder) in Form von spezifischen Produkt-Markt-Kombinationen ▪ Festlegung der grundlegenden Vorgehensweisen in den betrieblichen Funktionen
Geschäftsfeldstrategie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwirklichung der Unternehmensgesamtstrategie in den definierten Geschäftsfeldern ▪ Orientierung an den generischen Wettbewerbsstrategien ▪ Erzielung und Sicherung von Wettbewerbsvorteilen
Funktionalstrategie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strategien für die einzelnen Funktionsbereiche eines Unternehmens ▪ Umsetzung der Wettbewerbsstrategien ▪ Ausrichtung an Unternehmensgesamt- und Geschäftsfeldstrategie

Zwischen den einzelnen Strategieebenen liegt eine enge Verknüpfung vor. Die jeweils untergeordneten Strategien sind an den übergeordneten Strategien ausgerichtet und haben zur Aufgabe diese zu unterstützen. So stellen die Funktionalstrategien das Mittel zur Umsetzung der Wettbewerbsstrategien dar. Dazu zählen die Strategien der Funktionsbereiche Beschaffung, Produktion, Forschung und Entwicklung, der Vertrieb, aber auch Querschnittsbereiche wie das IT-Management, Personalmanagement oder das Marketing. Die Wettbewerbsstrategie hingegen ist Teil der Unternehmensstrategie, muss fest im Zielsystem des Unternehmens verankert sein und ist unerlässlich für den Markterfolg. [129, 127, 121]

Ausgehend von der Darstellung der betrieblichen Strategien wird die Strategie der Produktindividualisierung in diesen Kontext eingeordnet. Die Produktindividualisierung ist grundsätzlich auf der Ebene der Wettbewerbsstrategie einzuordnen, die definiert, welche Wettbewerbsvorteile

mit einem Geschäftsfeld bzw. Produkt erzielt werden sollen. Die Produktindividualisierung stellt dabei eine Ausprägung der Differenzierungsstrategie dar. Während die Differenzierungsstrategie, mit dem Ziel sich von der marktseitigen Konkurrenz abzuheben, grundsätzlich auf eine beliebig große Menge an Nachfragern ausgerichtet sein kann, zielt die Individualisierung nur auf die Befriedigung der Bedürfnisse eines bestimmten Kunden oder Kundengruppe ab. Aufgabe der Individualisierung ist die gezielte Anpassung spezifischer Produktmerkmale an die Bedürfnisse eines bestimmten Kunden, wobei der Kunde hier selbst Einfluss auf die Merkmalsausprägungen nimmt.

Über die tatsächliche operative Umsetzung der Produktindividualisierung gibt die Wettbewerbsstrategie jedoch keine Auskunft. Zur Beschreibung der Umsetzung einer Individualisierung muss daher, wie erläutert, auf die Funktionalstrategien im Unternehmen zurückgegriffen werden. Für die Beschreibung einer Individualisierungsstrategie genügt es daher nicht, nur den Gegenstand der Individualisierung zu beschreiben und die entsprechenden Differenzierungsmerkmale herauszustellen. Vielmehr ist für eine vollständige Darstellung auch zu erläutern, wie diese auf funktionaler Ebene umgesetzt wird, mit Fokus auf den zentralen Leistungsbestandteilen der Produktindividualisierung: Kundenintegration, Produktgestaltung und Fertigung (siehe Kapitel 3.1.1).

3.1.4 Abgrenzung der Produktindividualisierung von weiteren Wertschöpfungskonzepten

Um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, fokussieren sich Unternehmen zunehmend auf ihre Kernkompetenzen, und zahlreiche Aufgaben, die außerhalb des Fokusbereichs liegen, werden an Zulieferer und Dienstleister übertragen. So kann die eigene Fertigungstiefe reduziert und die Wertschöpfung optimiert und effizienter gestaltet werden. Durch externe Vergabe von spezifischen Wertschöpfungsaktivitäten entstehen allerdings auch neue Konzepte der Wertschöpfung. Innerhalb der produzierenden Industrie spielt dabei vor allem die Entwicklungs- und die Produktionsdienstleistung eine wichtige Rolle. Diese leisten häufig einen großen Beitrag zur Bewältigung der Herausforderungen im Bereich der Produktindividualisierung. Entwicklung und Produktion für individualisierte Produkte werden im weiteren Verlauf des Kapitels als wesentliche Wertschöpfungsaktivitäten näher dargestellt. An dieser Stelle gilt es zuvor die Rolle entsprechender Dienstleistungen für die Produktindividualisierung im Detail zu analysieren.

Entwicklungsdienstleistung

Um der hohen vorhandenen Innovationsdynamik Stand zu halten, sehen sich zahlreiche Unternehmen gezwungen, ihre Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auszubauen. Dies bringt neben hohen Kosten vor allem auch ein großes Risiko mit sich. Daneben mangelt es vielen Unternehmen auch an entsprechenden Kapazitäten und Kompetenzen. Daher gehen viele Unternehmen zunehmend dazu über, mit dem Ziel der Kostenreduzierung und Risikominimierung Entwicklungsaufgaben extern an entsprechende Dienstleister auszulagern. Durch die externe Vergabe von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben können sich Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen fokussieren sowie gleichzeitig nicht vorhandenes Wissen einkaufen. Dienstleister übernehmen in diesem Zuge Aufgaben beginnend bei der Vorentwicklung über die Produktgestaltung bis hin zu Simulation und Test. Dies kann sowohl einzelne Bauteile als auch komplexe Module und Systeme umfassen. Die Entwicklung der entsprechenden Teile erfolgt dabei immer streng nach Vorgaben des Auftraggebers, die als Lastenheft formuliert und anschließend vom Dienstleister in Pflichtenhefte überführt werden. [130, 131]

Entwicklungsdienstleister entwickeln somit keine eigenen Produkte, sondern übernehmen lediglich Aufträge, die streng nach Vorgaben des Auftraggebers durchgeführt werden [130]. Dementsprechend halten diese kein eigenes Produktportfolio vor, sondern bieten lediglich ein entsprechendes Kompetenzprofil am Markt an [132]. Auch wenn für ihre verschiedenen Auftraggeber spezifische Produkte entwickelt werden, handelt es sich dabei nicht um Produktindividualisierung im vorliegenden Sinne. Dabei muss eine klare Abgrenzung zu Unternehmen getroffen werden, die eigene Produkte anbieten, allerdings selbst keine Produktionskapazitäten vorhalten. Entwickeln diese bestimmte Produkte nach individuellen Kundenanforderungen, handelt es sich um Produktindividualisierung. [133]

Produktionsdienstleistung

Produktionsdienstleister unterscheiden sich von den Entwicklungsdienstleistern dadurch, dass nicht Forschungs- und Entwicklungsleistungen, sondern vielmehr Produktionskapazitäten angeboten werden. In Anspruch genommen werden diese durch Unternehmen, die entweder keine oder keine ausreichenden Produktionskapazitäten besitzen. Ziel ist auch hier die Konzentration auf Kernkompetenzen und die Kosteneinsparung beim Anbieter. Denn das Vorhalten entsprechender Produktionskapazitäten ist mit hohen Kosten verbunden. Zudem stehen Unternehmen vor dem

Hintergrund einer steigenden Innovationsdynamik und kürzer werdenden Produktlebenszyklen vor der Herausforderung, die vorhandenen Produktionsressourcen den veränderten Bedingungen anzupassen. Um hohe Investitionen in teure Anlagen und nicht ausgelastete Produktionslinien aufgrund der hohen Volatilität der Märkte zu vermeiden, werden externe Produktionskapazitäten in Anspruch genommen. Dabei kann wiederum zwischen Lohnfertiger und Auftragsfertiger unterschieden werden. Die Lohnfertigung umfasst lediglich die Ausführung von Produktionsprozessen nach den entsprechenden Arbeitsplänen des Auftraggebers [61]. An den benötigten Materialien erwirbt der Lohnfertiger kein Eigentum, diese werden durch den Auftraggeber bereitgestellt. Der Auftragsfertiger hingegen ist neben der Produktion auch für die Materialbeschaffung verantwortlich. Dieser trägt dadurch ein deutlich höheres Marktrisiko, da oft langfristige Abnahmevereinbarungen und -preise bestehen, Materialpreise aber durchaus schwanken können. [134]

Ebenso wie ein Entwicklungsdienstleister führt auch ein Produktionsdienstleister keine Produktindividualisierung durch. Zwar müssen diese häufig eine gewisse vom Auftraggeber vorgeschriebene Variantenvielfalt abdecken und unter Umständen individualisierte Produkte in Losgröße 1 fertigen, die eigentliche Individualisierung findet jedoch nicht beim Produktionsdienstleister sondern beim Auftraggeber statt. Denn wie der Entwicklungsdienstleister hat der Produktionsdienstleister kein eigenes Produktprogramm. Der Produktionsdienstleister bietet lediglich entsprechende Produktionskapazitäten am Markt an. Die Produktion und gegebenenfalls Beschaffung erfolgen nach Vorgaben des Auftraggebers. So grenzt sich der Produktionsdienstleister auch klar vom Zulieferer ab, der sich durch ein eigenes Produktportfolio auszeichnet und in der Regel die komplette Wertschöpfungskette von der Produktentwicklung bis hin zur Produktion abdeckt. Die Zulieferindustrie gilt im Gegensatz zum Produktionsdienstleister als ein wichtiger Anwendungsbereich für Produktindividualisierung [135].

3.2 Entwicklung individualisierter Produkte

Die Entwicklung übernimmt eine entscheidende Rolle in der Produktindividualisierung. Insgesamt umfasst die Produktentwicklung die Phasen der Produktplanung über die Produktkonzeption und den Produktentwurf bis hin zur Produktausarbeitung. Dabei werden die Individualisierungsmöglichkeiten in Form von Freiheitsgraden, die ein Anbieter dem Kunden in

der individuellen Produktgestaltung zugesteht, definiert und somit die Grundlage für die Produktindividualisierung geschaffen [68].

3.2.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die Entwicklung individualisierter Produkte unterscheidet sich grundsätzlich von der Entwicklung von standardisierten Serienprodukten. Die Gestaltung von Standardprodukten erfolgt für anonyme Nachfrager auf anonymen Märkten und basiert auf allgemeinen Marktforschungsaktivitäten. Der Entwicklungsprozess ist dabei immer der Akquisition vorgelagert und somit zum Zeitpunkt des Kaufs eines Produktes bereits abgeschlossen. Oftmals werden verschiedene Varianten entwickelt, um trotz der kundenanonymen Produktentwicklung unterschiedliche Marktsegmente und Kundenbedürfnisse bedienen zu können. Der Entwicklungsprozess individualisierter Produkte hingegen erfolgt auf Basis konkreter Kundenbedürfnisse und zeichnet sich somit durch kundenbezogene Aktivität aus. Allerdings kann dieser daneben dennoch auch kundenanonyme Leistungsbestandteile beinhalten. [75, 69]

Die Entwicklung individualisierter Produkte findet durch die notwendige Unterscheidung kundenanonymer und kundenbezogener Aufgaben folglich auf zwei Ebenen statt. Es erfolgt zuerst die Vorkombination bzw. der Aufbau des Leistungspotentials, das die Fähigkeiten definiert, die am Markt angeboten werden können [69]. Dies basiert allein auf Analyse innerhalb anonymer Märkte und angenommenen Kundenbedürfnissen [75, 136]. Auf Basis des Leistungspotentials werden definierte Leistungsbestandteile einmalig ohne Einbeziehung des Kunden entwickelt. Der Schwerpunkt der Entwicklung liegt dabei häufig nicht auf der Konstruktion einzelner Produktkomponenten sondern vielmehr auf dem Entwurf einer adaptionsfähigen Produktstruktur [106]. Das kundenindividuelle Endprodukt existiert auf dieser Ebene nur als konzeptionelle Ausprägung. Im Zuge der Vorkombination gilt es allerdings bereits die Individualisierungsmöglichkeiten im Leistungsspektrum vorzusehen.

In der zweiten Ebene findet dann die Integration des Kunden statt. Der Kunde stellt als externer Faktor Informationen bereit, die dann mit dem vordefinierten Leistungspotential kombiniert werden [63]. Daraufhin erfolgt die kundenspezifische Fertigstellung des Produktes. Dies schließt eine Anpassung oder Entwicklung einzelner Leistungskomponenten entsprechend der individuellen Kundenanforderungen ein. Die stellt das ideale Vorgehen bei der Entwicklung individualisierter Produkte dar und wird durch das nachfolgende Bild 13 veranschaulicht. [69, 137]

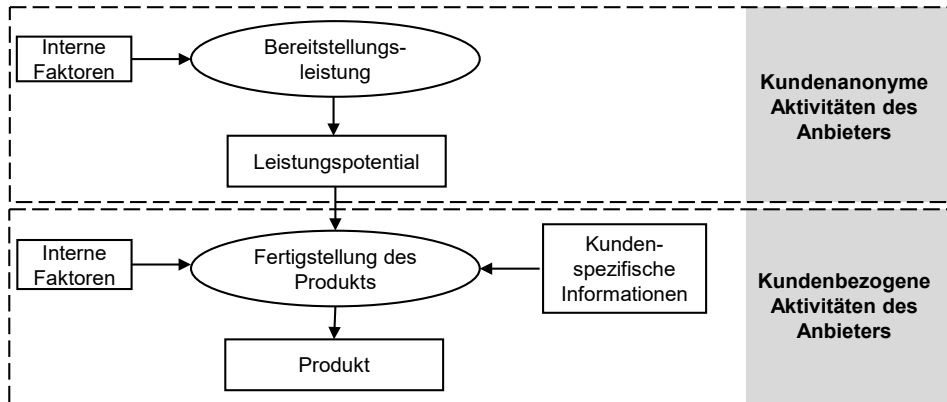


Bild 13: Vorgehen der Entwicklung individualisierter Produkte in Anlehnung an [63]

Die Höhe des Anteils an kundenanonymen und kundenbezogenen Aufgaben bei der Entwicklung individualisierter Produkt kann stark variieren. Dies ist abhängig von der Art der Produktentwicklung und dem Umfang der Vorkombination. Die verschiedenen Möglichkeiten dazu werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

3.2.2 Arten der Produktentwicklung

Grundsätzlich lassen sich unterschiedliche Formen der Produktentwicklung für individualisierte Produkte unterscheiden. Unterscheidungskriterium ist dabei der Grad der Individualisierung, der das Ausmaß der Kundenorientierung und somit auch den Anteil an kundenbezogenen Aktivitäten im Entwicklungsprozess beschreibt. [69]

Kundenanonyme Produktentwicklung

Bei der Entwicklung von Variantenprodukten findet der gesamte Produktentwicklungsprozess kundenanonym statt. Dies beinhaltet die Vordefinition einer Produktstruktur, welche die wesentlichen funktionalen Bestandteile umfasst, sowie der entsprechenden Freiheitsgrade, die dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Zudem findet eine kundenanonyme Entwicklung der einzelnen Komponenten in Form von Bauteilen und Baugruppen in unterschiedlichen Ausprägungen statt. Dem Kunden steht als Vorkombination ein vollkommen durchdachtes und abgesichertes Variantenspektrum zur Verfügung, aus welchem er sein gewünschtes Produkt zusammenstellen kann. [69, 138]

Der kundenbezogene Leistungsanteil in der Entwicklung von Variantenprodukten besteht lediglich in der individuellen Zusammenstellung des Endprodukts mittels Konfiguration (siehe Bild 14). Unter Konfiguration wird dabei der Prozess der Zusammenstellung eines Produktes aus vorhandenen Komponenten unter gleichzeitiger Auswahl der Komponenteneigenschaften aus verschiedenen möglichen Ausprägungen verstanden. Entsprechende Regeln sollen dabei sicherstellen, dass durch den Kunden nur technisch machbare bzw. sinnvolle Produkte zusammengestellt werden können. Der eigentliche Zeitpunkt der Individualisierung liegt dabei im Fertigungsprozess. Ein Beispiel hierfür stellen zum Beispiel elektrische Antriebssysteme dar, die nach Baukastenprinzip zusammengestellt werden können. [41]

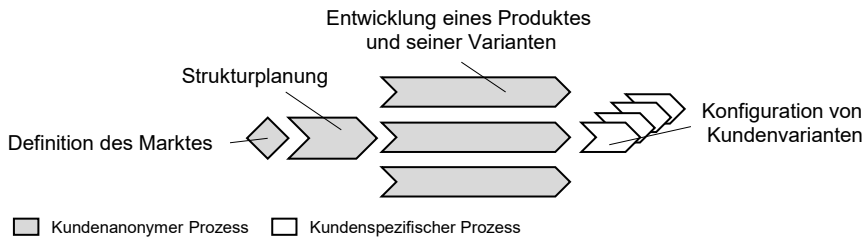


Bild 14: Prozess der kundenanonymen Produktentwicklung in Anlehnung an [69]

Kundenbezogene Produktentwicklung

Die Entwicklung von neuen Produkten nimmt ebenfalls eine Sonderstellung ein, da diese maßgeblich nur auf kundenbezogenen Aktivitäten basiert. Dieses Vorgehen unterscheidet sich somit vom dargestellten Prozess der Entwicklung individualisierter Produkte (siehe Bild 13). Denn für die kundenindividuelle Neuproduktentwicklung ist eine Einbindung des Kunden von Beginn des Entwicklungsprozesses an notwendig. Die individuelle Gestaltung ist dabei nicht auf bestimmte Produktbereiche eingeschränkt. Eine Vorkombination existiert hier in dieser Form nicht. Es wird jedoch auf allgemeine Produktmodelle, vorhandene Kompetenzen, Konzepte und Komponenten zurückgegriffen, um den Entwicklungsaufwand insgesamt möglichst gering zu halten. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Automobilzulieferindustrie [99, 106, 9]

Hybride Produktentwicklung

Bei der hybriden Produktentwicklung findet eine kundenanonyme Vorentwicklung einer Grundstruktur statt (siehe Bild 15). Dabei werden zum einen

die standardisierten Leistungsbestandteile definiert als auch die Freiheitsgrade des Produktes geplant. Innerhalb vorgedachter Grenzen können so entsprechende Produktbereiche durch den Kunden gestaltet werden. Dies erfordert sowohl die Festlegung der Individualisierungsmöglichkeiten als auch den Entwurf eines entsprechenden Spezifikationsprozesses. [69, 139]

Die hybride Produktentwicklung setzt somit auf ein vordefiniertes Produkt- und Prozessspektrum auf, das die Vorkombination darstellt. Der Kundenwunsch ist dabei ein wesentlicher Bestandteil in der Produktentwicklung. Denn die endgültige Fertigstellung des Produktes erfolgt erst auf Basis der kundenindividuellen Spezifikation [69]. Dementsprechend liegt hier tatsächlich ein zweigeteilter Entwicklungsprozess vor, wie in Bild 13 dargestellt. Eine hybride Produktentwicklung findet man beispielsweise häufig bei maßgefertigten Kleidungsstücken.

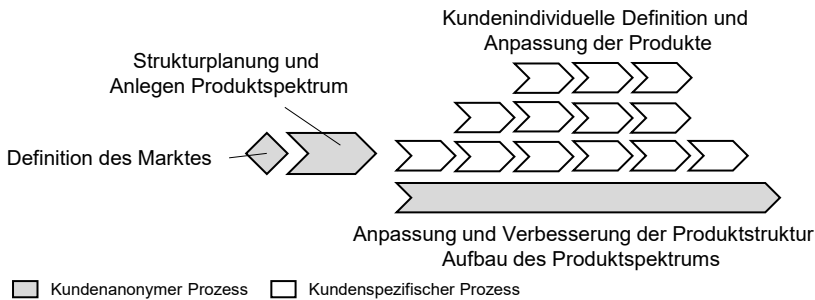


Bild 15: Prozess der hybriden Produktentwicklung in Anlehnung an [69]

3.2.3 Definition von Freiheitsgraden und des Individualisierungsgrades

Die verschiedenen Arten der Entwicklung zeigen, dass dem Kunden durchaus unterschiedliche vorgedachte Individualisierungsmöglichkeiten zur Verfügung gestellt werden können. Nicht bei allen Individualisierungsmöglichkeiten stehen dem Kunden die gleichen Optionen zur Verfügung.

Entsprechend der Individualisierungsmöglichkeiten unterscheidet sich auch der Individualisierungsgrad der Produkte. Berechnet werden kann der Individualisierungsgrad eines Produktes I aus dem Verhältnis der Anzahl kundenspezifischer Eigenschaften eines Produktes (PE_{ks}) zur Anzahl aller Produkteigenschaften, das heißt der Summe aus kundenspezifischen und kundenanonymen Produkteigenschaften (PE_{ka}):

$$I = \frac{\sum PE_{ks}}{\sum PE_{ks} + \sum PE_{ka}} \quad (1)$$

Die kundenspezifischen Produkteigenschaften können im Rahmen der vorgegebenen Freiheitsgrade durch den Kunden definiert werden. Grundsätzlich gilt, je mehr Randbedingungen zu berücksichtigen sind, desto geringer ist der Freiheitsgrad in der Produktindividualisierung, desto stärker sind die Individualisierungsmöglichkeiten eingeengt und desto geringer ist auch der Individualisierungsgrad eines Produktes [140].

Bei der Planung individualisierter Produkte ist aber nicht nur die Frage relevant, welche Individualisierungsmöglichkeiten dem Kunden in Form von Freiheitsgraden angeboten werden können, sondern vor allem welche Form der Individualisierung den meisten Nutzen stiftet. Denn der Kunde fordert nicht das individualisierte Produkt an sich, sondern vielmehr ein Produkt, das auf seine Bedürfnisse zugeschnitten ist. Dies umfasst nicht zwangsläufig das Angebot eines Maximums an Freiheitsgraden. Wichtig sind eine angepasste Auswahl und Einschränkung von Freiheitsgraden, um dem Kunden eine zielgerichtete Individualisierung zu ermöglichen. [141]

Die Freiheitsgrade definieren sich durch das Verhältnis zwischen Standardisierung und Individualisierung [142, 143]. Somit ist von der Ausprägung der Freiheitsgrade abhängig, ob einzelne Komponenten vorab vollständig auskonstruiert, nur grob in ihren wesentlichen strukturellen Eigenschaften konzipiert oder vollkommen offen gelassen werden [106]. Auf Basis dessen lassen sich unterschiedliche Formen des Designs unterscheiden, die als Ergebnis aus den verschiedenen Formen der Entwicklung und den gewählten Freiheitsgraden in der Produktindividualisierung resultieren.

Individuelles Design

Das individuelle Design hat die größten Freiheitsgrade. Die Produkte können ohne Einschränkungen entsprechend der Kundenanforderungen gestaltet werden bzw. an die Kundenanforderungen angepasst werden [143]. Hierbei handelt es sich um eine vollständige Individualisierung.

Parametrisches Design

Parametrische Produktmodelle werden mathematisch mithilfe von Parametern sowie Randbedingungen, welche die Beziehungen der einzelnen Parameter untereinander abbilden, beschrieben. Parameter stellen abhängige Variablen dar. Durch die Wahl entsprechender Parameterwerte kann ein Produktmodell automatisch verändert werden. Die Grundstruktur des Modells wird dadurch jedoch nicht beeinflusst. Durch den Kunden können nur einzelne Werte festgelegt werden, um das Produkt an die individuellen Bedürfnisse anzupassen. Dies können einfache Parameter sein, wie

geometrische Maße aber auch komplexere Werte wie die Anzahl der Zähne an einem Zahnrad. In der Regel ist hierzu jedoch ein bestimmter Bereich definiert, innerhalb dessen der Wert des entsprechenden Parameters liegen muss. Es liegt folglich eine teilweise Individualisierung vor. [144]

Diskretes Design

Das diskrete Design umfasst mehrere Ausprägungen, die innerhalb eines Produktes ausgewählt werden können, wie verschiedene Farben oder vordefinierte Längen. Diese sind bereits vorgedacht und können nicht frei definiert werden. Es existiert somit eine teilweise Standardisierung. [143]

Identisches Design

Das identische Design bildet die vollständige Standardisierung ab. Der Kunde hat hier keine Möglichkeiten auf die Gestalt des Endproduktes Einfluss zu nehmen. Das identische Design liegt bei Standardprodukten vor. [143]

Dabei ist es möglich, dass verschiedene Arten des Designs innerhalb eines Produktes oder einer Produktkomponente eingesetzt werden. So kann eine Komponente durchaus verschiedene diskrete Ausprägungen und gleichzeitig auch die Möglichkeit zur Parametrisierung aufweisen.

3.3 Produktion individualisierter Produkte

Die Produktion stellt den zweiten wichtigen Bestandteil in der Produktindividualisierung dar. Diese beginnt mit der Arbeitsvorbereitung des Produktes, die das Bindeglied zwischen der Festlegung des Produktes in der Entwicklung und der anschließenden Realisierung des individualisierten Produktes in der Fertigung und Montage darstellt [106]. Alle drei Bereiche sind allerdings eng miteinander verknüpft und sollten aufgrund der Wechselwirkungen im Kontext der Produktion individualisierter Produkte nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Die nachfolgende Betrachtung bezieht sich daher immer auf alle drei Bestandteile der Produktion.

3.3.1 Einordnung der Produktion individualisierter Produkte

Die Individualisierung von Produkten hat nicht nur einen Einfluss auf die Produktentwicklung, sondern vor allem auch auf den Produktionsprozess. Klassischerweise werden drei Produktionsarten unterschieden, die einen engen Bezug zu den angebotenen Produkten aufweisen: die Einzelfertigung, die Massenfertigung und die Variantenfertigung.

Die Einzelfertigung zeichnet sich dadurch aus, dass Produkte individuell nach Kundenauftrag produziert werden. Da in der Regel je Produktart nur eine Einheit produziert wird, es handelt sich um eine Fertigung in Losgröße 1. Dies erfordert eine hohe Flexibilität in allen Fertigungsstufen. [145, 146]

Bei der Massenfertigung besteht das Produktionsprogramm aus homogenen Produkten, die in hohen Stückzahlen für den anonymen Markt hergestellt werden. Im extremen Fall handelt es sich dabei um eine Einproduktfertigung. Die Fertigung erfolgt auf wenig flexiblen und auf große Stückzahlen ausgelegten Anlagen, die allerdings auch eine konstante Kapazitätsauslastung fordern. [145, 147]

Die Variantenfertigung liegt zwischen den beiden Extremformen der Einzel- und Massenfertigung. Es kann zwischen der anonymen und der kundenbezogenen Variantenfertigung unterschieden werden. Die anonyme Variantenfertigung erfolgt auf Basis von Bedarfsprognosen. Es wird eine große Zahl von Varianten eines Grundproduktes auf Lager produziert [148]. Bei der kundenbezogenen Variantenfertigung hingegen wird typischerweise eine Grundvariante eines Produktes angeboten, die an unterschiedliche Kundenbedürfnisse angepasst werden kann, indem diese vom Kunden individuell erweitert oder konfiguriert werden kann [146]. Grundsätzlich werden bei der Variantenfertigung gewisse Anteile der Produktion standardisiert und nur ein Teil der Produktion läuft variantenbezogen oder kundenindividuell. Ziel ist es, dabei den standardisierten Anteil möglichst groß zu halten. [22, 149]

Die Produktion individualisierter Produkte kann nicht allgemein einer der vorgestellten Produktionsformen zugeordnet werden. Je nach Ausmaß der Individualisierung bewegt sich diese in der Regel zwischen der Einzelfertigung und der Variantenfertigung.

3.3.2 Anforderungen an die Produktion individualisierter Produkte

Bei der Gestaltung von Produktionssystemen für die Fertigung individualisierter Produkte gibt es bestimmte Anforderungen, die es zu berücksichtigen gilt, damit Kundenbedürfnisse auch fertigungsseitig bestmöglich erfüllt werden können.

Ausschlaggebend für die Gestaltung der Produktionssysteme sind dabei die in der Produktentwicklung definierten Freiheitsgrade der zu fertigenden Produkte. Aufgabe der Produktion ist es, die Realisierbarkeit aller in der Entwicklung definierten Produktspektren sicherzustellen. Durch eine

Einschränkung der Individualisierbarkeit durch den Kunden können die resultierenden Anforderungen an die Fähigkeiten des Produktionssystems bereits in der Produktentwicklung eingeschränkt werden. Ziel ist es dabei, die interne, in der Produktion auftretende Varietät möglichst gering zu halten, bei gleichzeitiger Maximierung der externen, für den Kunden erkennbaren Varietät [108].

Daraus ergeben sich nicht nur Anforderungen hinsichtlich einer optimierten Flexibilität, sondern vor allem auch das Ziel der Berücksichtigung von Effizienzpotentialen der Massenfertigung, um wirtschaftlich fertigen zu können. Eine definierte Unterteilung in standardisierte und kundenspezifische Abschnitte in der Fertigung ermöglicht es, sowohl möglichst effizient zu agieren als auch an den notwendigen Stellen gezielt die erforderliche Flexibilität zu schaffen. [106, 108]

Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass die kundenseitigen Forderungen von weiteren Rahmenbedingungen überlagert werden, die eine wichtige Rolle bei der Planung von Produktionssystemen spielen. Neue Fertigungstechnologien, immer kürzer werdende Produktlebenszyklen und eine steigende Volatilität der Märkte beeinflussen die Produktion. So unterliegen Produktionsprozesse einem ständigen Wandel. Dementsprechend verändern sich auch die Anforderungen an Produktionssysteme kontinuierlich. Dies muss bereits bei der Planung eines Produktionssystems berücksichtigt werden und stellt eine weitere wesentliche Herausforderung dar. LINDEMANN formuliert vor diesem Hintergrund drei grundsätzliche Anforderungen an die entsprechenden Produktionssysteme: Die Erweiterungsfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit der Skalierung eines Produktionssystems, während die Integrationsfähigkeit die Möglichkeit beschreibt, neue Aufgaben, Methoden und Hilfsmittel in ein bestehendes System aufzunehmen. Die Lernfähigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit bei neuen Anforderungen Ähnlichkeiten zu vergangenen Planungen zu erkennen und so die Möglichkeit der Adaption bestehender Lösungen zu nutzen. [106, 150]

3.3.3 Abstufungen von Produktionssystemen für individualisierte Produkte

Hinsichtlich der oben genannten Anforderungen lassen sich verschiedene Stufen der Anpassungsfähigkeit unterscheiden. Je nach angebotenen Leistungsspektrum der Produktindividualisierung muss hier ein geeignetes Maß gefunden werden, um die entsprechenden in der Produktentwicklung

vorhandenen Freiheitsgrade auch im Produktionssystem abbilden zu können und die äußeren Einflussgrößen durch die Möglichkeit einer schnellen und kostengünstigen Anpassung an neue Gegebenheiten zu beherrschen. In der Regel kommen dabei flexible oder wandlungsfähige Produktionssysteme zum Einsatz. [151–153]

Flexible Produktionssysteme

Flexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Systems, sich an wechselnde, aber bekannte Produktionsaufgaben anzupassen [154]. Die vorhandene Flexibilität drückt sich durch die Gesamtheit aller Handlungsoptionen aus, die bei Auftreten von notwendigen Veränderungen genutzt werden können [155]. Die Anpassung der Produktionssysteme erfolgt dabei mit geringem Aufwand, das heißt innerhalb kurzer Zeit zu geringen Kosten und reversibel, ohne dabei den Grundaufbau des Systems substantiell zu verändern. Allerdings ist die Flexibilität auf bestimmte, zum Zeitpunkt der Planung festgelegte Flexibilitätskorridore beschränkt. Diese stellen Aktionsräume für spätere Entscheidungen dar, innerhalb derer die notwendige Reaktion auf bekannte Veränderungsdimensionen bereits vordefiniert ist [156]. Veränderungen außerhalb dieses Bereichs sind jedoch nicht vorgesehen und mit einem hohen Aufwand verbunden. [157–159]

Dabei kann grundsätzlich zwischen statischer und dynamischer Flexibilität unterschieden werden. Die statische Flexibilität bezieht sich auf die Fähigkeit, innerhalb eines definierten Korridors von Produkten und Prozessen stabil hinsichtlich Lieferzeit, Kosten und Qualität zu agieren [146]. Die dynamische Flexibilität befähigt produzierende Unternehmen darüber hinaus ihr Produktionssystem innerhalb eines definierten Flexibilitätskorridors ebenfalls innerhalb kurzer Zeit und zu geringen Kosten in Bezug auf Kapazität, Struktur und Abläufe anzupassen. [160, 161, 159]

Die notwendigen Fähigkeiten eines flexiblen Produktionssystems beziehen sich auf verschiedene Bereiche. In der Literatur existieren dazu unterschiedliche Einteilungen. Für eine Übersicht siehe beispielsweise [162]. Drei wesentliche im vorliegenden Kontext hervorzuhebende Flexibilitätsfelder stellen dabei die Produkt-, Volumen- und Prozessflexibilität dar:

- **Produktflexibilität**

Die Produktflexibilität bzw. Variantenflexibilität umfasst die Fähigkeit eines Unternehmens innerhalb eines definierten Spektrums unterschiedliche und auch neue Produkte bzw. Varianten auf dem gleichen Produktionssystem fertigen zu können. [163, 164]

- **Volumenflexibilität**

Der schwankenden Nachfrage muss mit einer entsprechenden Flexibilität des Produktionssystems bezüglich der Ausbringungsmenge begegnet werden. Diese Form der Flexibilität wird in der Literatur häufig als Stückzahlflexibilität, Volumenflexibilität oder auch Mengenflexibilität beschrieben. [165]

- **Prozessflexibilität**

Die Prozessflexibilität definiert sich zum einen durch die Fähigkeiten der einzelnen Produktionsressourcen als auch durch die Möglichkeiten der flexiblen Gestaltung von Prozessen hinsichtlich Abläufen und Strukturen über das gesamte System hinweg. [165, 166]

Jede Form der Flexibilität erfordert die Festlegung eines zugehörigen Flexibilitätskorridors. Die notwendigen Grenzen der Flexibilität zur Definition von Flexibilitätskorridoren lassen sich mittels einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung identifizieren. Breit ausgelegte Flexibilitätskorridore sind mit hohen Flexibilitätskosten verbunden, die über den gesamten Lebenszyklus eines Produktionssystems anfallen, unabhängig davon, ob die vorgehaltene Flexibilität erforderlich ist. Anpassungskosten fallen hier jedoch nur in geringem Maße an. Sehr eng ausgelegte Flexibilitätskorridore hingegen verursachen geringere Flexibilitätskosten, sind aber mit hohen Kosten verbunden, wenn Anpassungen außerhalb des vorgedachten Raumes aufgrund des zu eng gewählten Flexibilitätskorridors erfolgen müssen. Ziel ist es folglich, ein optimales Maß an Flexibilität zu finden, das durch das Minimum der Summe aus Flexibilitäts- und Anpassungskosten repräsentiert wird (siehe Bild 16). [167]

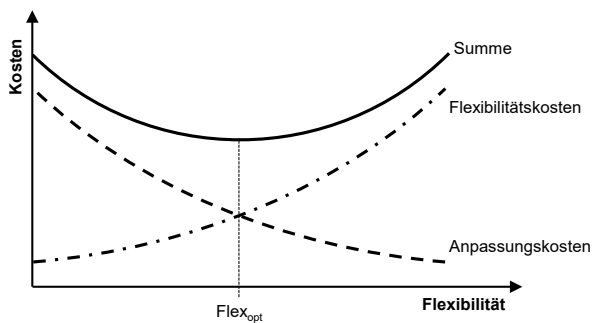


Bild 16: Anfallende Kosten in Abhängigkeit von der Flexibilität [167]

Wandlungsfähige Produktionssysteme

Das turbulente Umfeld der produzierenden Industrie orientiert sich jedoch nicht an vorhandenen Flexibilitätskorridoren und deren Grenzen. Dementsprechend genügt Flexibilität alleine häufig nicht, um die entstehenden Anforderungen im Unternehmensumfeld beherrschen zu können. Es besteht der Bedarf nach einer dynamischen Veränderungsgröße, die über die Flexibilität hinausgeht. Aus diesem Grund wird die Wandlungsfähigkeit als wichtiges weiteres Gestaltungsprinzip von Produktionssystemen gesehen. [168–171]

Die Wandlungsfähigkeit baut auf die Flexibilität und die entsprechenden Flexibilitätsfelder auf, geht jedoch über die Flexibilität hinaus, indem sie eine Reaktion auf Entwicklungen mit einschließt, die zum Zeitpunkt der Planung eines Produktionssystems noch nicht vorhersehbar sind [157]. Wandlungsfähigkeit wird daher als die Fähigkeit verstanden, eine Veränderung von Produktionssystemen in Form eines Umbaus oder einer Erweiterung auch jenseits vorgehaltener Flexibilitätskorridore schnell und mit geringem Investitionsaufwand durchführen zu können [172].

Wandlungsfähige Produktionssysteme werden im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen so geplant, dass sie entsprechende Freiräume enthalten, um nicht vorhergesehene Funktionen und Fähigkeiten in das vorhandene System integrieren zu können [157]. Bei Veränderungsimpulsen, die ein bestimmtes Maß nicht überschreiten, greift die im System vorhandene Flexibilität. Die entsprechende Anpassung geschieht dabei innerhalb des bestehenden Systems, ein Umbau oder Rückbau des Systems ist nicht vorgesehen. Gehen die notwendige Veränderung allerdings über den Korridor der Flexibilität hinaus greift die Wandlungsfähigkeit. Der Wandel des Systems umfasst eine strukturelle Veränderung, die aber auch nach Bedarf wieder zurückgebaut werden kann. [160, 166]

Die Wandlungsfähigkeit stützt sich dabei auf bestimmte Eigenschaften, die erforderlich sind, damit eine entsprechende Anpassung erfolgen kann. Diese Eigenschaften werden als Wandlungsbefähiger bezeichnet. In der Literatur haben sich fünf primäre Wandlungsbefähiger herausgebildet, die in Bild 17 dargestellt sind. Je deutlicher eine oder mehrere dieser Eigenschaften ausgeprägt ist, desto wandlungsfähiger ist das gesamte Produktionssystem [173]. Das Ziel ist auch hier nicht das Schaffen einer maximalen Wandlungsfähigkeit, die mit hohen Kosten verbunden ist, sondern für jedes einzelne Unternehmen ein optimales Maß an Wandlungsfähigkeit zu finden. [157, 174]

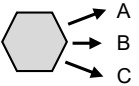
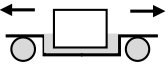
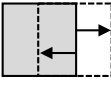
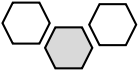
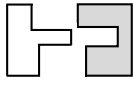
Universalität	Mobilität	Skalierbarkeit	Modularität	Kompatibilität
				

Bild 17: Wandlungsbefähiger in Anlehnung an [160]

Für die Produktindividualisierung können durch wandlungsfähige Produktionssysteme deutlich größere Freiheitsgrade in der Produktgestaltung geschaffen werden als bei flexiblen Produktionssystemen. Allerdings existieren hier auch Grenzen der Realisierung abhängig von der Ausgestaltung des Produktionssystems.

3.4 Kundenintegration

Der Leistungserstellungsprozess individualisierter Produkte zeichnet sich durch das Prinzip der Kundenintegration aus. So kann die Kundenintegration nicht nur als wesentliche Aufgabe in der Produktindividualisierung, sondern vielmehr als konstitutives Merkmal der Produktindividualisierung betrachtet werden, welches die Wertschöpfung individualisierter Produkte von Standardprodukten unterscheidet. Denn im Zuge der Produktindividualisierung stellen die Kunden nicht nur Käufer der entsprechenden Produkte dar, sondern übernehmen selbst eine Aufgabe im Rahmen der Leistungserstellung. Dementsprechend kann die Kundenintegration als aktive Beteiligung des Kunden an einer vereinbarten Leistungserstellung durch das Einbringen externer Faktoren oder die Übernahme von Teilleistungen verstanden werden [175]. Die Kundenintegration umfasst dabei die systematische Analyse, Planung, Durchführung sowie Kontrolle der aktiven Teilnahme des Kunden am Leistungserstellungsprozess [176]. Ziel ist die Spezifikation der Kundenwünsche in Form von Informationen, die der Kunde zur Verfügung stellt und die im Leistungserstellungsprozess des individualisierten Produktes genutzt werden. [21, 177, 136]

3.4.1 Formen der Kundenintegration

Grundsätzlich gibt es unterschiedliche Formen der Kundenintegration, je nach dem auf welche Art und Weise Kundenwünsche in individualisierte Produkte einfließen. Ein wesentliches Differenzierungskriterium dafür ist die Intensität der Integration (siehe Bild 18) [178]. Dabei ist die Rolle des

Kunden davon abhängig, welche Integrationstiefe gewählt wird. Die Ausprägungen reichen dabei von der reinen Interaktion bis hin zur Kooperation zwischen Anbieter und Kunde. [179]



Bild 18: Arten der Kundenintegration

Zum einen kann nur eine passive Einflussnahme des Kunden stattfinden. Dabei stellt der Kunde lediglich Informationen zur Verfügung, hat aber keinen Einfluss darauf, ob und wie die Informationen im Leistungserstellungsprozess verwendet werden. [179]

Die aktive Einflussnahme beschreibt einen kundenindividuellen Produkt-erstellungsprozess, bei dem der Kunde seine Individualisierungswünsche nennt und gemeinsam mit dem Anbieter Entscheidungen über die zu realisierenden Produktmerkmale trifft. Der Kunde führt also keine Gestaltungsaktivitäten aus, sondern legt durch die Äußerung seiner Anforderungen eine Basis für die vom Unternehmen durchgeführte Produktindividualisierung und bringt sich intellektuell mit in die Produktdefinition ein. Die Produktverantwortung liegt dabei jedoch komplett auf der Seite des Unternehmens. [180, 179]

Bei der aktiven Mitwirkung führt der Kunde selbst Aufgaben aus. Dabei übernimmt er entweder alleinverantwortlich die Produktgestaltung oder greift in einem definierten Gestaltungsraum individualisierend ein. Dies unterscheidet sich von den anderen Formen der Integration dadurch, dass der Kunde aktive Handlungen im Produkterstellungsprozess ausführt, die über das bloße Äußern von Anforderungen gegenüber dem Unternehmen hinausgehen. [180]

3.4.2 Herausforderungen der Kundenintegration

Die Kundenintegration im Zuge der Produktindividualisierung stellt Unternehmen vor zahlreiche Herausforderungen. Die größte Herausforderung dabei ist, die Anforderungen des Kunden eindeutig zu identifizieren. Kunden kennen oft aufgrund der mangelnden Erfahrungen ihre tatsächlichen Bedürfnisse an ein Produkt nicht oder sind sich deren nicht explizit bewusst. Aber auch wenn Kunden ihre Bedürfnisse kennen, sind sie häufig nicht in der Lage, diese entsprechend zu formulieren und zu präzisieren.

[28] Daher muss unterschieden werden zwischen objektiven und subjektiven Informationen. Bei individuellen Bedürfnissen, die den tatsächlichen Anforderungen des Kunden entsprechen und benötigt werden, um ein optimales Individualisierungsergebnis zu erzielen, handelt es sich um objektive Informationen. Subjektive Informationen sind Informationen, die vom Kunden im Zuge der Kundenintegration kommuniziert werden, aber nicht zwangsläufig den objektiven Informationen entsprechen. Dies resultiert in Verständnisschwierigkeiten zwischen Anbieter und Kunde. Die Zusammenhänge zwischen objektiven, subjektiven und umgesetzten Anforderungen sowie die möglichen auftretenden Probleme veranschaulicht Bild 19. Ziel ist es, möglichst große Schnittmengen zwischen objektiven, subjektiven und umgesetzten Anforderungen zu erzielen. [69, 181]

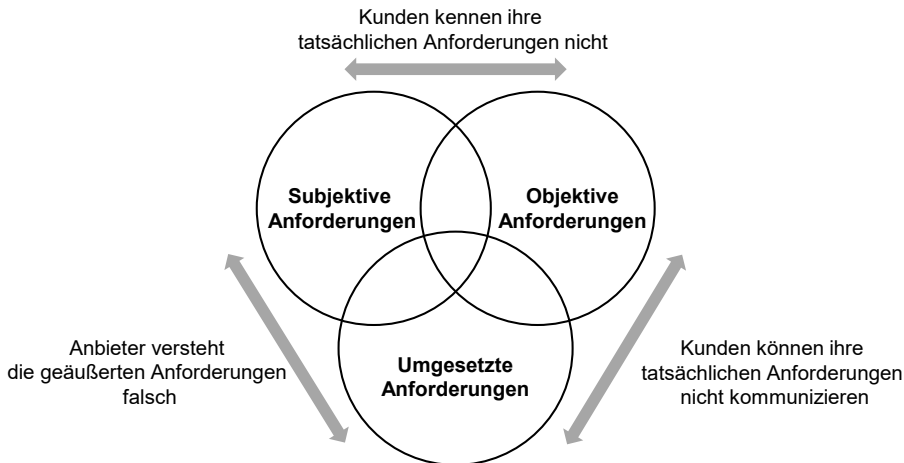


Bild 19: Problemfelder der Kundenintegration in Anlehnung in [181, 69]

Als weitere Herausforderung im Zuge der Kundenintegration ist das fehlende Verständnis der Kunden für ihre Rolle im Leistungsgestaltungsprozess. Dies wird auch als mangelnde Prozessevidenz, die sowohl mangelndes Prozessbewusstsein als auch mangelnde Prozesstransparenz umfasst, beschrieben. Mangelndes Prozessbewusstsein liegt vor, wenn ein Kunde sich nicht darüber im Klaren ist, dass die Qualität seiner Leistungsbeiträge maßgeblich das Ergebnis des Leistungserstellungsprozesses beeinflusst. Wenn der Kunde sich zwar der Notwendigkeit und Relevanz seiner Leistungsbeiträge bewusst ist, aber nicht weiß, welche Informationen von ihm zu welchem Zeitpunkt gefordert sind, ist hingegen keine ausreichende Prozesstransparenz vorhanden. [182, 136, 69]

Darüber hinaus können allerdings auch Willensbarrieren zur Herausforderung bei der Kundenintegration werden. So gibt es Kunden, welche die Produktindividualisierung als alleinige Aufgabe des Anbieters betrachten und die sich aus Angst vor einem Know-how-Verlust im eigenen Unternehmen vor der Mitwirkung im Leistungserstellungsprozess verschließen [69]. Für eine erfolgreiche Kundenintegration ist folglich nicht nur das Wissen des Kunden über die eigenen Bedürfnisse, sondern auch das Wissen bezogen auf den Prozess und seine Aufgaben und vor allem das Wollen des Kunden erforderlich. [183, 179]

Entsprechende Probleme in Form von mangelnder Prozessevidenz können allerdings auch auf Anbieterseite vorliegen, wenn der Anbieter nicht weiß, wann er welche Informationen seitens des Kunden benötigt und das Fehlen von Informationen erst an der entsprechenden Stelle im Leistungserstellungsprozesses bemerkt wird [182]. Dementsprechend lassen sich, wie Bild 20 veranschaulicht, verschiedene Ausprägungen von Kundenintegrationsprozessen unterscheiden, je nachdem welches Maß an Prozessevidenz auf Kunden- und Anbieterseite vorliegt.

		Prozessevidenz auf Kundenseite	
		niedrig	hoch
Prozessevidenz auf Anbieterseite	niedrig	Trial and Error	Kundendominierter Prozess
	hoch	Anbieterdominierter Prozess	Reibungslose Zusammenarbeit

Bild 20: Ausprägungen von Kundenintegrationsprozessen in Anlehnung an [179]

3.4.3 Anforderungen an eine erfolgreiche Kundenintegration

Für eine erfolgreiche Kundenintegration und das Sicherstellen einer reibungslosen Zusammenarbeit zwischen Anbieter und Kunde muss den aufgeführten Herausforderungen begegnet werden. Dazu ist es zum einen notwendig den Kunden dabei zu unterstützen seine tatsächlichen Anforderungen zu erkennen. Zum anderen muss der Anbieter seinen eigenen Prozess kritisch reflektieren und sicherstellen, dass dieser den vorhandenen Anforderungen gerecht wird. Als Richtlinie gilt dabei der Prozess der Informationsbereitstellung. Dieser setzt sich aus fünf Leitfragen zusammen, die es für eine erfolgreiche Umsetzung der Kundenintegration seitens des Anbieters zu beantworten gilt:

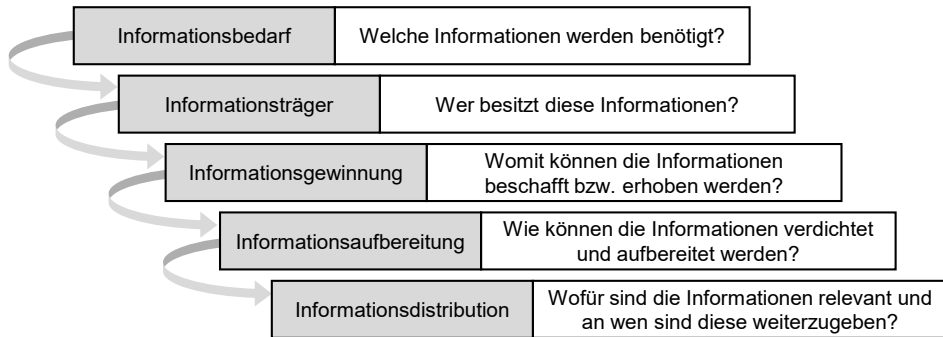


Bild 21: Leitfragen der Informationsbereitstellung in Anlehnung an [116, 184]

Den ersten Schritt stellt dabei die Identifikation des Informationsbedarfs seitens des Kunden dar. Der Informationsbedarf wird dabei im Wesentlichen durch die vorab definierten Freiheitsgrade bestimmt. Informationsträger können neben den Kunden selbst vor allem auch bereits dem Anbieter vorliegende Kundeninformationen sein. Im Zuge der Informationsgewinnung gilt es vor allem dem Kunden aufzuzeigen, wie er sich mit seinen Anforderungen in die Spezifikation und Erstellung der Leistung einbringen kann bzw. an welchen Stellen Informationen benötigt werden. Aufgabe des Anbieters ist es, diese Informationen aktiv zu suchen sowie diese im Rahmen der Informationsaufbereitung zu analysieren und zu bewerten [179]. Verschiedene Spezifikationswerkzeuge können sowohl Kunden als auch Anbieter bei der Informationsgewinnung unterstützen. Ein ausreichendes Hinterfragen und Absichern der Anforderungen der Kunden ist dennoch unerlässlich. [69]

Insgesamt ergeben sich für die Kundenintegration daraus folgende Anforderungen, die es umzusetzen gilt, um eine erfolgreiche Kundenintegration sicherzustellen:

- **Transparenz der Ablaufprozesse:** Sind sich sowohl Anbieter als auch Kunde ihrer Aufgaben im Leistungserstellungsprozess bewusst?
- **Kundenfreundliche Spezifikationswerkzeuge:** Werden Werkzeuge eingesetzt, die den Kunden entsprechend unterstützen und anleiten?
- **Effizienter Informationstransfer:** Liegen die notwendigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt und in ausreichender Qualität im Leistungserstellungsprozess vor?

- **Geringe Schnittstellenproblematik:** Können die entsprechenden Informationen einfach und schnell in den Leistungserstellungsprozess integriert werden?

3.5 Methoden für das Management von Produktindividualisierung

Über die aufgeführten Bestandteile der Produktindividualisierung hinweg stehen Unternehmen vor der Herausforderung mit der dort aus der Produktindividualisierung resultierenden Komplexität umzugehen. Hierzu existieren Methoden, die das Management von Produktindividualisierung in den einzelnen Bereichen unterstützen. Bevor auf diese Methoden näher eingegangen wird, werden zunächst die Grundlagen des Komplexitätsmanagements als Herausforderung in der Produktindividualisierung erläutert.

3.5.1 Komplexitätsmanagement als Herausforderung in der Produktindividualisierung

Komplexität eines System umfasst zwei Dimensionen: Zum einen die statische Dimension, die Aufbau und Zusammensetzung des Systems beschreibt, und zum anderen die dynamische Dimension, die durch die Veränderlichkeit des Systems gebildet wird (siehe Bild 22). Dementsprechend ist die Komplexität eines Systems auf die Anzahl und Verschiedenartigkeit der Elemente und Beziehungen des Systems sowie deren Veränderlichkeit über den Zeitverlauf zurückzuführen und kann als eine Verknüpfung von Vielfalt und Veränderung in unterschiedlichsten Ausprägungen verstanden werden. Insgesamt gilt: Ein System ist umso komplexer, je mehr Elemente es enthält und je mehr Beziehungen zwischen den Elementen existieren und je verschiedenartiger diese Beziehungen sind. Die Kombinationsmöglichkeiten im System wachsen exponentiell und führen schnell zu einer unüberschaubaren Menge an Möglichkeiten. Dementsprechend drückt Komplexität vor allem auch die Unbestimmtheit und Unvorhersehbarkeit eines Systems aus. [185–188]

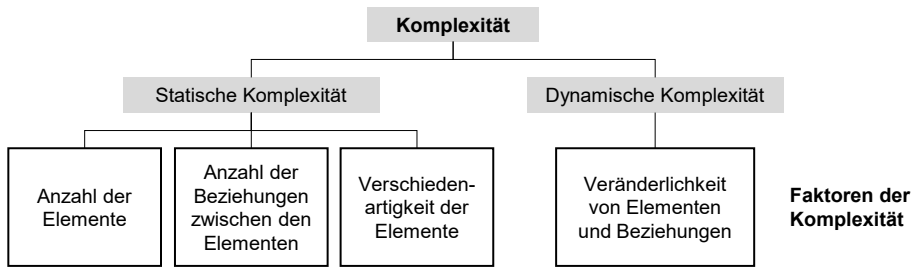


Bild 22: Faktoren der Komplexität in Anlehnung an [189]

In der Gesamtheit der Betrachtung lässt sich Komplexität im Unternehmen als Auslöser für Zusatzaufwand, erhöhten Ressourceneinsatz sowie Informationsbedarf zusammenfassen [190]. Um diese Komplexität zu beherrschen, sind punktuelle Einzelmaßnahmen nicht ausreichend. Denn Komplexität wirkt in verschiedener Art und Weise auf alle Unternehmensbereiche. Demnach ist für den Umgang mit Komplexität ein durchgängiger Ansatz erforderlich, der als ganzheitliche Managementaufgabe betrachtet wird. [191, 185]

Demnach lassen sich unter dem Begriff des Komplexitätsmanagements die Aktivitäten zur Komplexitätsbewältigung über alle Wertschöpfungsstufen hinweg zusammenfassen [185]. Ziel ist dabei nicht die Eliminierung der Komplexität, sondern die Erreichung eines optimalen Komplexitätsgrades [192, 193]. Die Umsetzung des Komplexitätsmanagements umfasst daher insgesamt drei Strategien: Die Komplexitätsvermeidung stellt einen antizipativen Managementansatz zur Verhinderung der Komplexitätsentstehung dar. Komplexitätsreduktion umfasst die reaktive Einflussnahme auf die Komplexität durch verringernde Maßnahmen. Unter Komplexitätsbeherrschung wird die Handhabung nicht vermeidbarer Komplexität unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte verstanden. [186, 22, 194]

Durch das Komplexitätsmanagement soll ein maximaler Beitrag zum Kundennutzen bei gleichzeitiger hoher Wirtschaftlichkeit der Leistungserstellung ermöglicht werden [188]. In Bezug auf die Produktindividualisierung heißt dies, dass Kundenbedürfnisse bestmöglich befriedigt werden sollen, der entsprechende Aufwand dafür aber möglichst geringgehalten werden soll. Der Ansatz besteht darin, mit möglichst wenigen verschiedenen Komponenten (interne Vielfalt) möglichst viele unterschiedliche Produkte (externe Vielfalt) anzubieten [195]. In diesem Kontext wird dabei auch häufig gleichbedeutend von Variantenmanagement gesprochen. Das Variantenmanagement zielt explizit auf die von Produkt ausgehende Komplexität ab. Somit stellt dieses nur einen Teilaspekt des Komplexitätsmanagements dar, der auf die Optimierung des Produktprogramms abzielt, während das

Komplexitätsmanagement in Summe die Bewältigung der gesamten Organisationskomplexität verfolgt. Bei der nachfolgenden Betrachtung des Umgangs mit Komplexität wird der Fokus auf das Variantenmanagement gelegt. [185, 196]

3.5.2 Methoden für das Management von Produktindividualisierung in Produktentwicklung und Produktion

Die Komplexität in der Produktentwicklung und Produktion wird maßgeblich durch die Heterogenität der Kundenbedürfnisse und die steigende Produktvielfalt getrieben sowie die daraus resultierende Anzahl an Produkten, Komponenten und Technologien, die es in der Fertigung zu bewältigen gilt [191]. Je höher die Flexibilität und Komplexität im Produktprogramm sind, desto höher ist in der Regel auch die Komplexität in der Wertschöpfungskette [197, 198].

Grundlage für den Umgang mit dieser Form der Komplexität ist im Wesentlichen die Implementierung verschiedener Strukturierungs-, Klassifizierungs- und Standardisierungsmaßnahmen und den Transport dieser zum Kunden [199]. Ausgangspunkt dafür stellt das Schaffen einer Transparenz im Aufbau des Produktprogrammes dar. Einen Überblick über die typische Strukturierung von Produktprogrammen gibt das nachfolgende Bild.

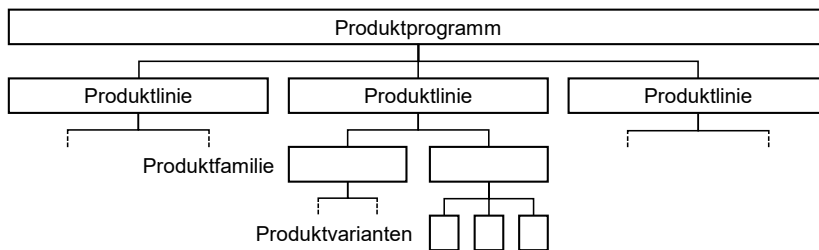


Bild 23: Typische Strukturierung eines Produktprogrammes in Anlehnung an [200]

Diese gezielte Produktstrukturierung ist eine wichtige Voraussetzung, um die extern geforderte Vielfalt mit geringer interner Vielfalt realisieren zu können [200]. Eine Definition zu den einzelnen Begrifflichkeiten in diesem Zusammenhang mit der Strukturierung von Produktprogrammen gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Begrifflichkeiten zur Strukturierung von Produktprogrammen

Produktprogramm	Gesamtheit aller zu einem bestimmten Zeitpunkt angebotenen Produkte eines Unternehmens [201, 47]
Programmbreite	Anzahl unterschiedlicher angebotener Produkte [199, 9]
Programmtiefe	Anzahl angebotener Varianten eines Produktes [199, 9]
Produktlinie	Produkte, die aufgrund ähnlicher Funktionsprinzipien, Anwendungsbereiche oder Produktionsverfahren organisatorisch zusammengefasst werden [200]
Produktfamilie	Gesamtheit aller Varianten, in denen ein Produkt angeboten wird [139, 202, 203]
Produktvarianten	Produkte mit gleicher Grundfunktion, die sich in mindestens einer Eigenschaft oder einem Element unterscheiden [200]
Komponente	Synonym für Bauteil sowie Baugruppe [139]

Ebenso wie das Produktprogramm, lassen sich auch Produkte an sich strukturieren (siehe Bild 24). Diese Aufgabe übernimmt die Produktstruktur, indem diese die hierarchische physische Zusammensetzung eines Produktes aus seinen Bestandteilen und deren Zuordnung untereinander beschreibt. Dabei werden Baugruppen und Bauteile als Elemente der Produktstruktur abgebildet. Strukturstufen übernehmen dabei die Funktion, Komponenten aus untergeordneten Strukturebenen zu Baugruppen zu konsolidieren. Die entsprechende Zuordnung erfolgt dabei durch Spezifikation der Schnittstellen zwischen den einzelnen Elementen, wobei jedoch nicht berücksichtigt wird, dass auch Abhängigkeiten zwischen Elementen, die keine Schnittstellen aufweisen, bestehen können. [191, 204, 139]

Die Produktstruktur dient als Basis für ein erfolgreiches Komplexitätsmanagement, indem sie die Komplexität eines Produktes in Form seiner Strukturbeziehungen abbildet [185]. Darüber hinaus ermöglicht sie eine klare Trennung zwischen standardisierten und individualisierten Elementen in der Produktindividualisierung.

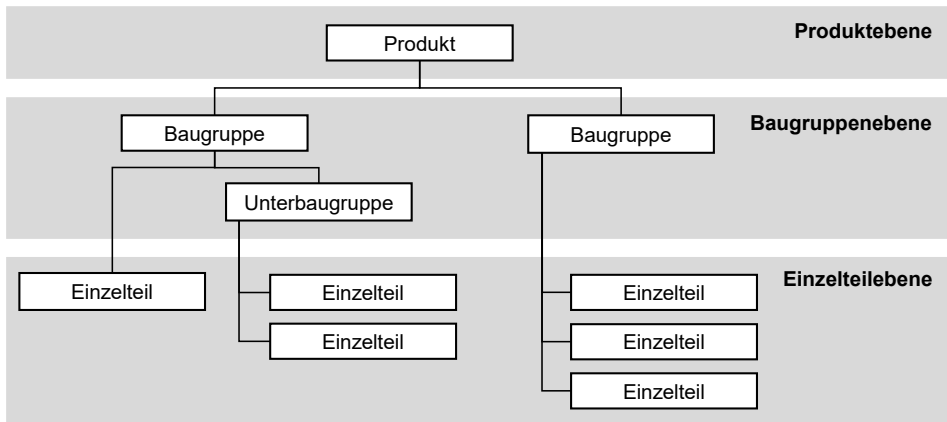


Bild 24: Ebenen der Produktstruktur in Anlehnung an [205, 206]

Aufbauend auf der Strukturierung von Produkten und Produktprogrammen können verschiedene Methoden zur Realisierung des Komplexitätsmanagements eingesetzt werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über ausgewählte Methoden.

Tabelle 4: Methoden zur Umsetzung des Komplexitätsmanagements in Anlehnung an [199]

Komplexität	Methode
Reduzieren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gleich- und Wiederholteile
Vermeiden	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baureihen ▪ Modularisierung ▪ Plattformsysteme
Beherrschen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baukastensysteme

Gleich- und Wiederholteilstrategie

Die Methode der Gleich- und Wiederholteilstrategie zielt auf die Reduktion der Teilevielfalt innerhalb des Produktprogrammes durch die Mehrfachverwendung gleicher Komponenten in einem oder mehreren Produkten ab [207]. Bei Gleichteilen handelt es sich dabei um Komponenten, die mehrmals in einem Produkt vorkommen. Wiederholteile hingegen werden in unterschiedlichen Produkten verwendet. Beide Begriffe werden allerdings häufig auch synonym verwendet. Insgesamt soll so ein möglichst hoher Grad an Standardisierung innerhalb des Produktprogrammes auf Bauteil- oder Baugruppenebene erreicht werden. So ist es möglich, die innere Varianz, das heißt die Vielfalt von Einzelteilen und Baugruppen, zu verringern, ohne dass dabei zwangsläufig die gewünschte Vielfalt auf Ebene des Endproduktes negativ beeinflusst wird. [208, 199, 209]

Baureihen

Baureihen setzen sich aus Produkten zusammen, die bis auf einzelne ausgewählte Parameter identisch sind. Ausgangspunkt bei der Entwicklung einer Baureihe stellt ein Produkt einer Variante dar, von dem man weitere Varianten nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten ableitet. Es handelt sich dabei um eine Anpassungskonstruktion der Produkte, bei der die Funktion, die konstruktive Lösung, die eingesetzten Werkstoffe sowie der Fertigungsablauf möglichst identisch sind. Unterschiedlich sind hingegen die Leistungsdaten und die Abmessungen der einzelnen Produkte. So stellt die Baureihe eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Teilevielfalt dar. Das Prinzip kann nicht nur auf gesamte Produkte, sondern auch auf einzelne Module angewendet werden (siehe Bild 25). [106, 207, 185, 139]

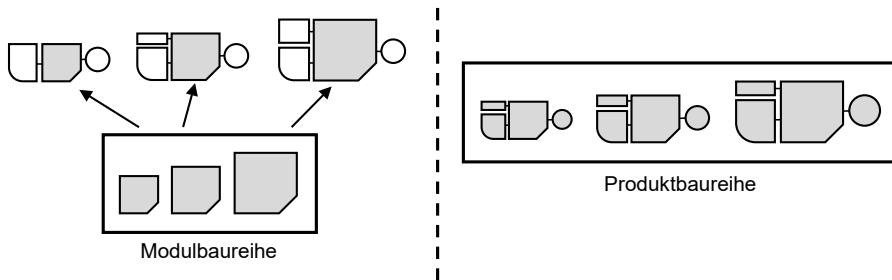


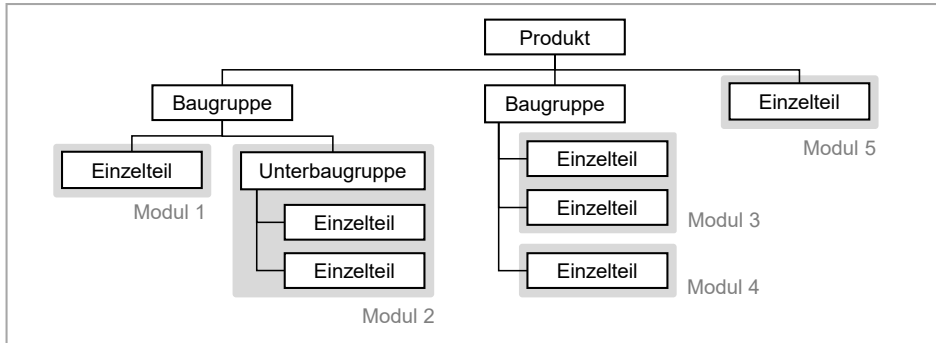
Bild 25: Arten von Baureihen in Anlehnung an [139]

Modularisierung

Ein weiterer strategischer Ansatz ist das Prinzip der Modularisierung. Modularisierung beschreibt die Gliederung des Produktes in relativ unabhängige Bestandteile, die sich durch wenige, standardisierte Schnittstellen auszeichnen. Bei den Bestandteilen handelt es sich dabei um Bauteile oder Baugruppen, die als Module bezeichnet werden (siehe Bild 26).

Die einzelnen Module werden unabhängig vom Gesamtprodukt entwickelt und gefertigt und anschließend in mehreren Produkten wiederverwendet. Durch die Kombination von Modulen mit unterschiedlichen Funktionen können so verschiedene Produktvarianten erzeugt werden. Dies ermöglicht wiederum eine effiziente Erzeugung von Vielfalt bei beherrschbaren Auswirkungen auf die interne Komplexität des Unternehmens. [204, 185, 195, 200]

Dekomposition der hierarchischen Produktstruktur



Überführung in eine modularisierte Produktstruktur

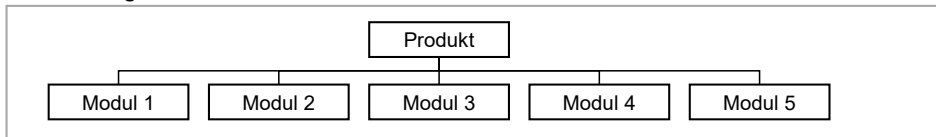


Bild 26: Vorgehen der Modularisierung in Anlehnung an [200]

Plattformsysteme

Die Plattformbildung stellt eine Sonderform der Modularisierung dar. Dazu werden Module, die über alle Produktvarianten innerhalb einer oder mehrerer Produktfamilien eingesetzt werden, zu einem großen standardisierten Modul, der sogenannten Plattform, zusammengefasst. Diese umfasst somit alle Komponenten, die für jede Produktvarianten innerhalb einer Produktfamilie genutzt werden und bildet die Grundlage für die Ableitung von Varianten innerhalb der Produktfamilie. Die Variantenbildung erfolgt dabei durch die Ergänzung der Plattform um zusätzliche Module. Diese ergänzenden Module müssen allerdings untereinander nicht kombinierbar oder austauschbar sein. [139, 195, 210]

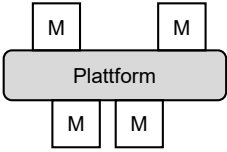
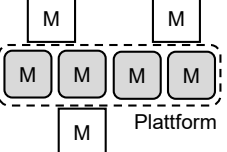
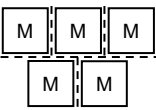
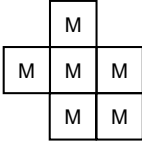
Baukastensysteme

Baukastensysteme greifen ebenfalls auf die Methode der Modularisierung zurück. Anders als Plattformen werden Baukastensysteme allerdings nicht zwingend für eine Produktfamilie entwickelt. Es handelt sich um ein System von Produkten, das so aufgebaut ist, dass alle Produkte aus einer Zahl an Bausteinen hergestellt werden können. Diese Bausteine sind vordefiniert und standardisiert, ebenso wie die notwendigen Schnittstellen. Durch die Kombination der Bausteine können unterschiedliche Gesamtfunktion abgeleitet werden. Charakteristisch für den Baukasten ist zudem

der Aufbau aus einem oder mehreren festgelegten Grundkomponenten, die dann durch verschiedene Module in Form von Bausteinen ergänzt werden. [22, 185, 204]

Plattform und Baukasten sind keine sich gegenseitig ausschließenden Methoden. Beide stellen Formen der modularen Produktstrukturierung dar und können miteinander kombiniert werden [139]. Dementsprechend werden verschiedene Stufen der Modularisierung unterschieden. Die nachfolgende Tabelle konsolidiert dazu die Ansätze von PILLER, SCHUH und GRESHAKE und gibt so eine übergreifende Zusammenfassung.

Tabelle 5: Stufen der Modularisierung

Plattform mit Modulvarianten	Modulplattformen mit Modulvarianten	Generische Modularisierung	Freie Modularisierung
			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plattform als Grundlage für Produktaufbau ▪ Anbau von Modulen (M) mit unterschiedlichen Merkmalen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine vordefinierten Plattform ▪ Erstellung einer Plattform durch Konfiguration 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verzicht auf Plattform ▪ Strukturbindung bei der Kombination der Module 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freie Kombination der Module
<div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> Plattformsystem </div> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; display: inline-block;"> Baukastensystem </div> </div>			

Die dargestellten Ansätze basieren auf der Kombination von vordefinierten, standardisierten Modulen. Im Zuge der Produktindividualisierung gibt es darüber hinaus auch die Möglichkeit dem Kunden im Bereich der Modularisierung größere Freiheitsgrade zur Verfügung zu stellen. Entsprechend der Freiheitsgrade nimmt SCHNEIDER [68] im Bereich des Komplexitätsmanagement eine Unterscheidung in Baukastensysteme, Aufbausysteme und Maßsysteme vor (siehe Bild 27).

- **Baukastensysteme**

SCHNEIDERS Definition baut auf die oben aufgeführte Beschreibung von Baukastensystemen auf. Allerdings nimmt dieser ergänzend eine Unterscheidung zwischen Muss- und Wahlelementen vor. Muss-Elemente stellen notwendige Bestandteile eines Produktes dar, die zentrale Funktionen übernehmen. Hier kann nur zwischen verschiedenen Varianten gewählt werden. Wahlelemente hingegen stellen optionale Komponenten eines Produktes dar, von welchen nicht zwangsläufig eine Variante im Produkt verbaut werden muss. [68, 211]

- **Aufbausysteme**

Aufbausysteme lassen hingegen mehr Freiheitsgrade in der Produktgestaltung zu. Hier kann nicht nur zwischen verschiedenen Gestaltungselementen und bestimmten Varianten des jeweiligen Elements gewählt werden, auch die Anzahl der jeweiligen Elemente kann innerhalb eines bestimmten Rahmens frei gewählt werden. [68, 211]

- **Maßsysteme**

Bei Maßsystemen können einzelne Elemente in ihrer Dimensionierung oder auch Ausgestaltung durch den Kunden beeinflusst werden. Dementsprechend handelt es sich nicht mehr um vordefinierte, standardisierte Module, sondern um Module, die durch den Kunden innerhalb definierter Freiräume individualisiert werden können. [68, 211]

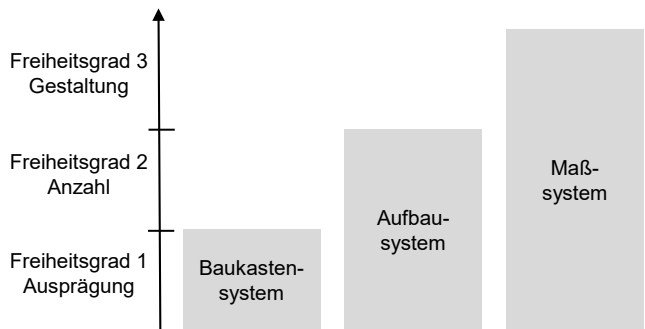


Bild 27: Freiheitsgrade in der Modularisierung

3.5.3 Methoden für das Management von Produktindividualisierung in der Kundenintegration

Für die Umsetzung der dargestellten Möglichkeiten des Komplexitätsmanagements ist eine Weitervermittlung der entsprechenden Fähigkeiten des

Anbieters an den Kunden in Form eines geeigneten Werkzeugs unerlässlich, um die Potentiale des Komplexitätsmanagements ausschöpfen zu können. [21]

Produkte mit einer geringen Zahl kundenrelevanter Produktmerkmale und somit einer geringen Anzahl möglicher Varianten werden in der Regel mit klassischen Verkaufshilfsmitteln wie Produktkatalogen abgebildet [204]. Produktkataloge bilden das vollständige Produktsortiment eines Unternehmens inklusive Variantenausprägungen ab und ermöglichen dem Kunden die einfache Selektion eines Produktes, das am ehesten seinen individuellen Anforderungen entspricht [212].

Liegt hingegen eine Vielzahl möglicher Varianten eines Grundprodukts mit verschiedenen Freiheitsgraden vor, können diese nicht mehr in einem einfachen Produktkatalog abgebildet werden und es ist eine individuelle Angebotserstellung erforderlich. Die Herausforderung besteht darin, dass die einzelnen Komponenten nicht unabhängig voneinander gewählt werden können, sondern vielfältige Abhängigkeiten und Randbedingungen zu beachten sind [213]. Aus diesem Grund werden spezielle Informationssysteme, sogenannte Produktkonfiguratoren, eingesetzt, welche die vorhandene Komplexität bündeln und auf ein für den Benutzer handhabbares Maß herunterbrechen [214]. Somit müssen Konfiguratoren sicherstellen, dass die Modularisierung genutzt wird, um schnell und einfach ein Produkt zusammenzustellen, das den maximal möglichen Wert für den Kunden schafft [21].

Die Aufgaben eines Produktkonfigurators bestehen dabei darin, den Kunden direkt oder indirekt durch den Konfigurationsprozess zur führen. Der Konfigurator muss dazu das vorhandene Konfigurationswissen verwalten und dem Benutzer den Aufbau des Produkts sowie die Freiheitsgrade hinsichtlich der Optionen zur Gestaltung aufzeigen, sowie die Plausibilität des zusammengestellten Produkts überprüfen. [106] Mit dem Einsatz von Konfiguratoren wird es so möglich, ohne entsprechende Kenntnis der Produktstruktur und Restriktionen ein Produkt zusammenzustellen, das vollständig und funktionsfähig ist. So können Fehler in der Produktgestaltung sowie aufwändige interne Rückspracheschleifen vermieden und die Häufigkeit der Kundenrückfragen reduziert werden. [204, 21]

Grundsätzlich kann zwischen Konfiguratoren für Marketing und Vertriebs unterschieden werden. Marketingbezogene Konfiguratoren ermöglichen es dem Kunden, sich selbstständig sein gewünschtes Produkt zu konfigurieren, während Konfiguratoren im Vertrieb von Außerdienstmitarbeitern und Verkäufern genutzt werden. [215]

Konfiguratoren orientieren sich in ihrem Aufbau an Expertensystemen (siehe Bild 28). Die Wissensbasis enthält das Konfigurationswissen und stellt das Herzstück des Konfigurators dar [218]. Die Wissensbasis besteht aus Faktenwissen, das eine Sammlung aller Komponenten umfasst, und dem Regelwissen, das die individuelle Konfiguration von Produkten gemäß der vom Anbieter festgelegten Semantik unterstützt und überwacht und Wissen über die notwendige Vorgehensweise der Problemlösung enthält [219]. Die Dialogkomponente ist dafür zuständig, den Nutzer durch den Konfigurationsprozess zu führen, das Konfigurationsergebnis in Form von Bildern oder Produktbeschreibungen zu präsentieren sowie dem Anbieter die notwendigen Baupläne und Fertigungsinformationen bereitzustellen. Die Problemlösungskomponente verwendet das Konfigurationswissen aus der Wissensbasis, um daraus ein neues Konfigurationsprodukt zu erstellen. Darüber hinaus erläutert die Erklärungskomponente dem Nutzer unter anderem Randbedingungen oder logische Einschränkungen. Die Wissenserwerbskomponente ist zuständig für den Ausbau des Konfigurationswissens. [216]

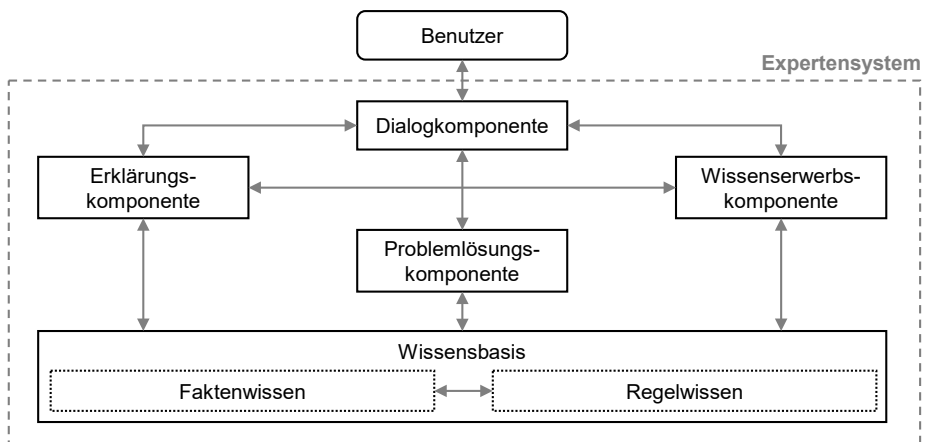


Bild 28 Aufbau eines Expertensystems in Anlehnung an [216, 217]

Es existieren verschieden Möglichkeiten der Repräsentation des Konfigurationswissens in der Wissensbasis. Je nach Anwendungsgebiet und vorhandenen Freiheitsgraden kommen verschiedene Formalismen der Beschreibung zum Einsatz:

Tabelle 6: Möglichkeiten der Repräsentation des Regelwissens in Konfiguratoren in Anlehnung an [218, 220, 219, 221]

Formalismus	Aufgaben
Regeln	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formulierung von Wenn-Dann-Beziehungen ▪ Automatischer Ausschluss von Komponenten und Mengen ▪ Nur Bild von definierten, gerichteten Konfigurationsprozessen
Tabellen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung der Eigenschaften von Produkten und Baugruppen ▪ Darstellung von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen ▪ Formulierung von Auswahlbedingungen
Constraints	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formulierung von Gültigkeitsbedingungen ▪ Aussagen über zulässige Kombinationen von Merkmalen und Werten ▪ Plausibilitäts- und Fehlerüberwachung
Formeln	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definition von Maßzusammenhängen für die Auslegung von Produkten ▪ Berechnung von Abmaßen
Skripte und Programmiersprachen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschreibung der Konfigurationsstrategie ▪ Festlegung der Reihenfolge der Abfrage von Konfigurationsmerkmalen ▪ Zerlegung der Konfigurationsaufgabe in einzelne Dialoge
Künstliche Intelligenz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bild von logischen Regeln, Abhängigkeiten und Beziehungen zur Beschreibung von Konfigurationsprinzipien ▪ Lösen von komplexen Konfigurationsanfragen durch logische Schlussfolgerungen ▪ Analyse bestehender und autonome Ableitung neuer Konfigurationslösungen durch maschinelle Lernverfahren

Zudem lassen sich in Folge der unterschiedlichen Freiheitsgrade und Gestaltungsmöglichkeiten auch verschiedene Arten von Konfiguratoren unterscheiden (vergleiche Bild 29). Dazu wird eine Klassifizierung vorgenommen, die sowohl vorhandene Freiheitsgrade als auch die existierenden Restriktionen berücksichtigt. [222]

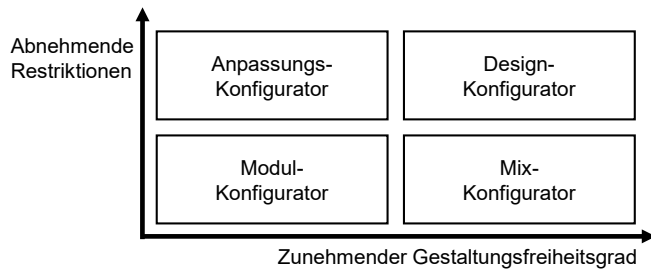


Bild 29: Arten von Produktkonfiguratoren in Anlehnung an [222]

Das Lösen der Konfigurationsaufgabe geschieht dabei je nach Freiheitsgrad durch Selektion, Kombination und Parametrisierung von Komponenten [223]. **Modulkonfiguratoren** dienen der Konfiguration von Baukastensystemen. Dabei kann lediglich eine festgelegte Anzahl an vordefinierte Komponenten mittels Selektion konfiguriert werden. Ergebnis sind Produkte mit gleichem strukturellem Aufbau, die sich nur durch einzelne Ausstattungsmerkmale unterscheiden. Ein Beispiel hierfür ist die Konfiguration eines Autos. **Mixkonfiguratoren** hingegen ermöglichen die Konfiguration von Aufbausystemen und haben dementsprechend einen hohen Freiheitsgrad hinsichtlich der Kombinationsmöglichkeiten der vorhandenen Module. Eine Mixkonfiguration erfolgt beispielsweise bei der Zusammenstellung eines individuellen Müslis. **Anpassungskonfiguratoren** ermöglichen die Konfiguration von Maßsystemen. Der Kunde hat die Möglichkeit Produkte in Ihrer Gestalt zu verändern. Dies erfolgt in der Regel durch Parametrisierung. Allerdings sind hier häufig die Freiheitsgrade hinsichtlich der Zusammensetzung des Produktes durch eine vorgegebene Produktstruktur eingeschränkt. Hierzu zählt zum Beispiel Erstellung einer individuellen Jeanshose. Die größten Freiheitsgrade gewähren **Designkonfiguratoren**. Während die ersten drei Kategorien zum Stand der Technik zählen, gibt es vor allem im Bereich der Designkonfiguratoren noch Entwicklungsbedarf. Diese gewähren Freiheiten sowohl im Aufbau als auch in der Formgebung der Produkte. Dadurch gilt es eine hohe Komplexität im Konfigurator abzubilden. Entsprechende Konfigurationen sind nur zu einem geringeren Maße vordefiniert und bestehen aus Komponenten, die weitestgehend nicht präzise beschrieben und somit stark parameterbehaftet sind. Dazu zählt beispielsweise die Gestaltung von individuellen Produktverpackungen. [68, 222, 224]

3.6 Bestehende Modelle der Produktindividualisierung

Allgemein kann ein Modell als ein vereinfachtes Abbild der Realität verstanden werden [225]. Der Modellbegriff wird darüber hinaus in verschiedenen Zusammenhängen mit unterschiedlichen Bedeutungen eingesetzt [226]. Im wissenschaftlichen Kontext ist darunter ein Objekt oder Gebilde zu verstehen, das innere Beziehungen und Funktionen abbildet, veranschaulicht und vereinfacht [227]. Modelle sind dabei bewusst nicht originalgetreu und heben je nach Verwendungszweck bestimmte Eigenschaften hervor [228].

Es existieren diverse Modelle, die Produktindividualisierung in verschiedene Strategien untergliedern und diese voneinander abgrenzen. Im folgenden Abschnitt werden ausgewählte Ansätze dargestellt und diskutiert. Um dabei Aussagen über die Qualität der einzelnen Modelle zu ermöglichen und eine Vergleichbarkeit sicherzustellen, werden verschiedene Bewertungskriterien als Grundlage für die Betrachtung herangezogen.

3.6.1 Kriterien für die Bewertung

Für Bewertung der Qualität bestehender Modelle existieren verschiedene Ansätze. Zu den wichtigsten Ansätzen zählen dabei die Qualitätskriterien zur Bewertung von Datenmodellen nach MOODY und SHANKS sowie die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung nach BECKER et al. Der Ansatz von MOODY und SHANKS zieht zur Bewertung acht Qualitätskriterien heran: Vollständigkeit, Integrität, Flexibilität, Verständlichkeit, Korrektheit, Einfachheit, Integration und Implementierbarkeit. BECKER et al. [229] zählen hingegen Richtigkeit, Relevanz, Wirtschaftlichkeit, Klarheit, Vergleichbarkeit und den systematischen Aufbau als notwendige Kriterien auf. Daneben gibt es zahlreiche weitere Vorschläge für Kriterien zur Bewertung der Modellqualität. Eine unmittelbare Anwendung der aufgeführten Kriterien ist vor dem Hintergrund der Arbeit nicht sinnvoll. Die genannten Ansätze beziehen sich auf die Bewertung von Daten- und Informationsmodellen und stammen ursprünglich aus der Softwareentwicklung. Daher gilt es diese auf das vorliegende Anwendungsgebiet zu übertragen, die einzelnen Kriterien zu hinterfragen und nicht qualitätsrelevante Kriterien auszuschließen.

Um die Qualität von Modellen, die verschiedene Strategien im Bereich der Produktindividualisierung beschreiben, zu bewerten, erweisen sich die Bewertungskriterien Vollständigkeit, Relevanz, Richtigkeit und Implementierbarkeit als zielführend. Anhand dieser Eigenschaften wird überprüft, ob

die existierenden Modelle in der Lage sind, eine gesamtheitliche Übersicht über Strategien der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie zu schaffen. Die Interpretation der einzelnen Kriterien in Bezug auf den vorliegenden Betrachtungsrahmen wird dazu im nachfolgenden kurz erläutert.

Vollständigkeit

Ein Modell gilt dann als vollständig, wenn es alle relevanten Eigenschaften der betrachteten Domäne enthält [230]. Für das Anwendungsgebiet der Produktindividualisierung bedeutet dies, dass alle existierenden Strategien der Produktindividualisierung mit einem Modell abgedeckt werden. Somit kann jede Strategie auch in das Modell eingeordnet werden. Zudem ist darauf zu achten, dass das Modell für den gesamten Betrachtungsraum der produzierenden Industrie anwendbar ist.

Relevanz

BECKER et al. [229] ersetzen das Kriterium der Vollständigkeit durch den Grundsatz der Relevanz. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch die Relevanz als ergänzender Aspekt neben der Vollständigkeit betrachtet. Ausgehend von der Festlegung des Betrachtungsrahmens ist nicht nur auf Vollständigkeit zu achten, sondern auch die relevanten Sachverhalte klar abzugrenzen. Das Modell sollte nur die für den Zweck der Modellierung relevanten Sachverhalte aufgreifen und einen dem Anwendungszweck entsprechenden geeigneten Detaillierungsgrad aufweisen. Im vorliegenden Fall bedeutet dies, dass vor allem der zuvor festgelegte Bezugsrahmen dieser Arbeit für die Bewertung der Relevanz herangezogen werden muss. Somit sind beispielsweise Strategien der Soft Customization als nicht relevant einzustufen. [231]

Richtigkeit

Die Richtigkeit ist vor allem für das Verständnis und die Akzeptanz eines Modells wichtig. Ein Modell ist richtig, wenn der darzustellende Sachverhalt korrekt wiedergegeben wird. Dies umfasst zum einen die semantische Richtigkeit, die beschreibt, inwiefern ein Modell struktur- und verhaltensgetreu gegenüber dem zugrundeliegenden Objektsystem ist und die Forderung nach Widerspruchsfreiheit erfüllt. Zum anderen stellt die syntaktische Richtigkeit sicher, dass das Modell formal korrekt ist. [50, 232, 229]

Implementierbarkeit

Die Implementierbarkeit zielt auf die Anwendung eines Modells ab. Es muss dem Nutzer ersichtlich sein, wie das Modell anzuwenden ist, und welche Informationen er daraus gewinnen kann. Die Strategien der Individualisierung müssen eindeutig zuordenbar sein. Zu abstrakt gehaltene oder wenig detaillierte Modelle haben oft einen fehlenden Bezug zur Praxis und die eindeutige Einordnung von Beispielen fällt dadurch schwer. [230, 233]

Darüber hinaus soll überprüft werden, ob die Modelle die drei zentralen, genannten Leistungsbestandteile der Produktindividualisierung, die Entwicklung, die Produktion und die Kundenintegration aufgreifen, oder gegebenenfalls eine Betrachtung nur aus einer bestimmten Perspektive durchführen.

3.6.2 Charakterisierung der Modelle

Die Umsetzung von Individualisierung erfolgt in Form von unterschiedlichen Konzeptionen. In der Literatur existieren dazu verschiedene Ansätze. Ausgewählte Modelle werden im Nachfolgenden charakterisiert. Über die Modelle hinweg werden unterschiedliche Abgrenzungskriterien herangezogen, die zum Teil miteinander kombiniert werden. Häufig auftretende Systematisierungsmerkmale sind dabei der Individualisierungsgrad und -zeitpunkt. [25, 234]

Modell nach LINDEMANN

LINDEMANN unterscheidet anhand des Individualisierungsgrades drei Strategien der Produktindividualisierung [106]. Diese sind in Tabelle 7 aufgeführt. Dabei handelt es sich um kein Modell im eigentlichen Sinne, allerdings wird diese Strategieklassifizierung aus Gründen der Relevanz in die Betrachtung mit aufgenommen. Ähnliche Einteilungen sind auch bei JACOB [75], HOOSHMAND [196] und PILLER [22, 25] zu finden.

Der wesentliche Unterschied zwischen der Strategie der variantenreichen Serienproduktion und individualisierten Produkten besteht in dem Umgang mit Komplexität. Die variantenreiche Serienproduktion basiert auf dem Prinzip der Modularisierung und der Reduzierung der Vielfalt an Elementen. Bei individualisierten Produkten soll die Vielfalt nicht vermieden, sondern gezielt durch entsprechende Prozesse und Technologien ermöglicht werden. Im Gegensatz zu Sonderanfertigungen ist dabei eine Individualisierung allerdings nur in definierten Produktbereichen möglich. [106]

Tabelle 7: Strategien der Produktindividualisierung nach Lindemann [106]

Sonderanfertigungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Komplette Neuentwicklung individueller Lösungen ▪ Produkte werden genau nach Kundenspezifikation hergestellt
Individualisierte Produkte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konfiguration vordefinierter Module und kundenspezifische Gestaltung in definierten Produktbereichen ▪ Produkt wird in Grundstruktur vorentwickelt und an individuelle Kundenbedürfnisse angepasst
Variantenreiche Serienprodukte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konfiguration von vorgefertigten Modulen ▪ Auftragsunabhängige Entwicklung und Produktion der Module

Die Einteilung gibt einen guten Überblick über vorhandene Möglichkeiten der Individualisierung, weist allerdings auch Schwachstellen auf. Es fehlt eine entsprechende Veranschaulichung von vorhandenen Zusammenhängen und Abhängigkeiten.

Modell nach GILMORE und PINE

Der Ansatz nach GILMORE und PINE stellt ein zweidimensionales Portfolio dar, welches sich in die Dimensionen Individualisierung des Produktes und Individualisierung der Präsentation des Produktes untergliedert. Darauf aufbauend werden vier verschiedene Ansätze zur Befriedigung von Kundenbedürfnissen unterschieden (siehe Bild 30). [235, 108]

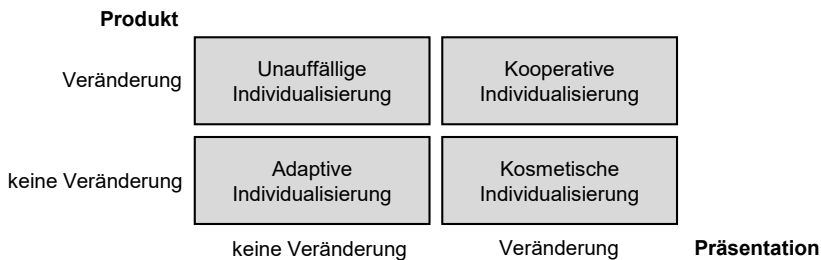


Bild 30: Die vier Ansätze der Individualisierung nach GILMORE und PINE [273]

Die kooperative Individualisierung beschreibt die Individualisierung mittels Interaktion zwischen Anbieter und Kunde vor Beginn der Produktion. Die unauffällige Individualisierung hingegen erfolgt ohne die Mitwirkung des Kunden auf Basis vorliegender Kundendaten. Bei der kosmetischen Individualisierung erfolgt lediglich eine unterschiedliche Präsentation von Standardprodukten für verschiedene Kundengruppen, während bei der

adaptiven Individualisierung Standardprodukte angeboten werden, die durch den Kunden selbst individualisiert werden können. [235, 25]

Das Modell gibt einen sehr allgemeinen Überblick über die Möglichkeiten, in welcher Form Kundenwünsche, die sich unterschiedlichen Individualisierungsgraden niederschlagen können, in Produkten berücksichtigt werden. Das vorliegende Verständnis von Produktindividualisierung wird allerdings nur durch den Ansatz der kooperativen Individualisierung aufgegriffen. Informationen über die Umsetzung einzelner Strategien liegen hier nicht vor.

Modell nach Schnäbele

Ebenso wie GILMORE und PINE entwickelt auch SCHNÄBELE einen zweidimensionalen Ansatz. Dieser unterscheidet dabei den Technologisierungsgrad des Produktionsprozesses und dem Modularisierungsgrad der Kernleistung als Dimensionen. Daraus resultieren vier verschiedene Strategien der Individualisierung (siehe Bild 31).

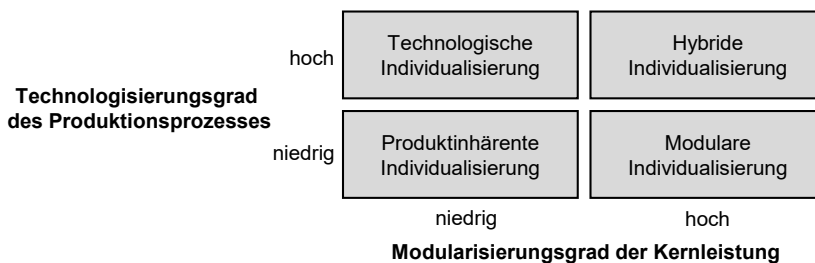


Bild 31: Strategien der Individualisierung nach SCHNÄBELE [64]

Die modulare Individualisierung basiert auf einer kundenindividuellen Konfiguration unterschiedlicher Teilleistungen im Produktionsprozess. Die Strategie der technologischen Individualisierung zielt hingegen auf eine automatisierte Fertigung individualisierter Produkte durch hochflexible Informations- und Fertigungstechnologien ab. Die Strategie der hybriden Individualisierung verknüpft den Ansatz der Modularisierung mit einem hohen Technologisierungsgrad in der Fertigung. Bei produktinhärenter Individualisierung handelt sich um standardisierte Produkte mit der Möglichkeit zur Selbstindividualisierung durch den Kunden. [64]

Durch die separate Betrachtung der Produktgestaltung und des Produktionsprozesses weist das Modell grundsätzliches Potential auf. Allerdings lässt der Fokus auf die Produktmodularisierung auf Unvollständigkeit schließen. Ansätze, die über die Modularisierung hinausgehen, werden nicht ausreichend differenziert betrachtet.

Modell nach Lampel und Mintzberg

LAMPEL und MINTZBERG nutzen die klassischen Wertschöpfungsstufen als Ausgangspunkt für die Definition von Strategien der Individualisierung [236]. Sie untergliedern die Produktindividualisierung in fünf Stufen, die sich durch einen unterschiedlichen Individualisierungsumfang auszeichnen (siehe Bild 32). Sie beginnen mit der reinen Standardisierung, gefolgt von der segmentierten Standardisierung, welche dem Kunden die Möglichkeit gibt, zwischen verschiedenen vorgefertigten Varianten auszuwählen. Die dritte Stufe stellt die individualisierte Standardisierung in Form der Zusammenstellung von individuellen Produkten aus standardisierten Modulen dar. Bei der angepassten Individualisierung wird ein vorhandenes Produktmodell an die individuellen Eigenschaften des Kunden angepasst. Die reine Individualisierung bezieht den Kunden bereits in das Produktdesign mit ein. [236, 237]

Das Modell nach LAMPEL und MINTZBERG gibt einen sehr anschaulichen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Individualisierung und bezieht sowohl den Aspekt der Produktentwicklung als auch den Gesichtspunkt der Produktion mit in das Modell ein. Hinweise zur Kundenintegration und zur konkreten Umsetzung fehlen allerdings.

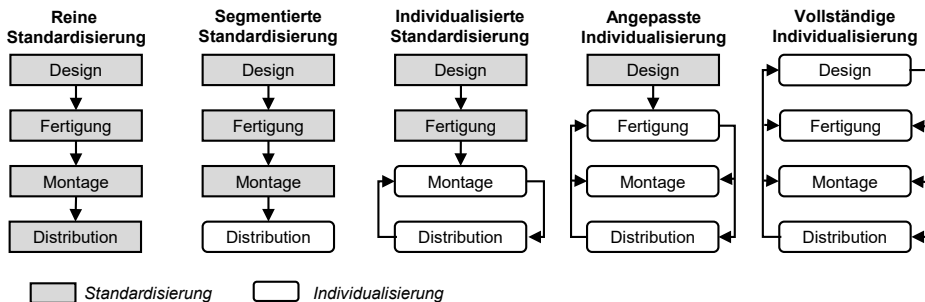


Bild 32: Strategien nach Lampel und Mintzberg [236]

Modell nach PILLER und STOTKO

Grundlage für die Definition einzelner Strategien im Modell nach PILLER und STOTKO ist der Zeitpunkt der Kundenintegration bzw. der Individualisierungszeitpunkt (siehe Bild 33). Das Modell orientiert sich dabei, ähnlich wie das Modell nach LAMPEL und MINTZBERG, an den verschiedenen Wertschöpfungsstufen.

Zur Definition der einzelnen Individualisierungskonzepte wird dabei das Konzept der Kundenentkopplungspunkte, das den Wertschöpfungsprozess in auftragsneutrale, prognosebasierte und kundenauftragsgesteuerte Aktivitäten unterteilt, aufgegriffen [238]. Dieses Konzept wird auch als X-to-order-Produktion bezeichnet. Der Buchstabe X bezeichnet den Zeitpunkt im Wertschöpfungsprozess, zu dem kundenbezogene Auftragsinformationen einfließen und ein anonymes Produkt zu einem kundenindividuellen Produkt wird [196]. Wie Bild 33 zeigt, ist das Ausmaß der Individualisierung dabei abhängig vom Zeitpunkt der Integration des Kunden. [P5, 239, 99]

		Zeitpunkt der Kundenintegration	Strategie der Produktindividualisierung	Zunehmendes Ausmaß der Individualisierung
Hard Customization		Produktplanung	User-driven Innovation Entwicklung neuer Produkte durch die Einbindung einzelner Kunden (Lead User)	
		Entwicklung und Konstruktion	Engineer-to-order Individuelle Entwicklung und Anpassung von Produkten oder einzelnen Produktbestandteilen	
		Fertigung	Make-to-order Individuelle Fertigung von zum Teil kundenspezifischen Komponenten	
		Montage	Assemble-to-order Endmontage von standardisierten Komponenten und Modulen auf Basis einer kundenindividuellen Konfiguration	
Soft Customization		Handel/Vertrieb	Bundle-to-order Bündelung von Standardprodukten zu einem individuellen Produkt	
		Handel/Vertrieb	Match-to-order Unterstützung bei der individuellen Auswahl vorhandener Standardprodukte	

Bild 33: Individualisierungskonzepte nach PILLER und STOTKO [110, 69]

Vergleichbare Modelle, die ebenfalls das Prinzip der Kundenentkopplungspunkte aufgreifen, sind ebenfalls in vorherigen Publikationen PILLERS [22, 25] sowie beispielsweise auch bei EIDENMÜLLER [240], SCHUH et al. [241] und WIENDAHL [242] zu finden.

Der Ansatz weist den höchsten Detaillierungsgrad der bisher vorgestellten Modelle auf. Es werden sowohl Aspekte der Produktgestaltung, Produktion als auch Kundenintegration aufgegriffen. Allerdings verschwimmen hierbei Aspekte der Produktgestaltung und der Produktion miteinander. Eine klare Differenzierung sowie konkrete Hinweise zur Umsetzung fehlen.

3.6.3 Bewertung der Modelle

Die in den vorherigen Abschnitten dargestellten Modelle weisen weitestgehend unterschiedliche Schwerpunkte auf und eignen sich insgesamt unterschiedlich gut zur Klassifizierung existierender Strategien der Individualisierung. Aufbauend auf die Charakterisierung der Modelle werden diese hinsichtlich der in Kapitel 3.6.1 formulierten Kriterien im Detail bewertet. Bild 34 zeigt das Bewertungsergebnis.

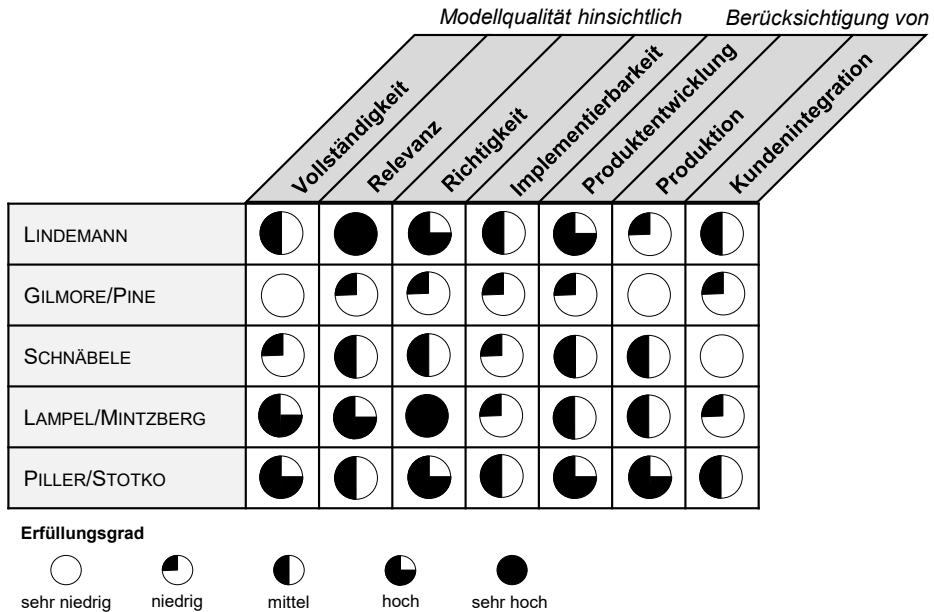


Bild 34: Bewertung der vorgestellten Modelle

Den Eindruck der größten Vollständigkeit weisen die Modelle von PILLER und STOTKO sowie LAMPEL und MINTZBERG auf, die sich jeweils an der Wertschöpfungskette ausrichten. Inwiefern dabei eine Vollständigkeit innerhalb der einzelnen Wertschöpfungsstufen gegeben ist, ist durch eine allgemeine Betrachtung schwer einzuschätzen und muss im Detail durch Hinterfragen der einzelnen Strategien geprüft werden.

Die meisten der vorgestellten Ansätze greifen den Gedanken der Soft Customization auf. Allerdings ist diese aufgrund der eingangs getroffenen Einschränkungen nicht Bestandteil der vorliegenden Sichtweise auf Produktindividualisierung, die sich auf dem Bezugsrahmen der industriellen Produktion bezieht. Aus diesem Grund weisen die Modelle im Betrachtungskontext eine mangelnde Relevanz auf. Die einzige Ausnahme stellt dabei die Einteilung nach LINDEMANN dar.

Darüber hinaus zeichnet sich das Modell nach GILMORE und PINE durch mangelnde Richtigkeit aus. Es fällt auf, dass ein sehr stark verzerrtes Abbild der Realität geschaffen wird. Vor allem die Einordnung der kooperativen Individualisierung, die eine Veränderung in der Produktpräsentation voraussetzt und eine tatsächliche Individualisierung von funktionellen Eigenschaften eines Produktes ausschließt, ist zu hinterfragen. Ähnliche Schwachstellen zeigt auch das Modell nach SCHNÄBELE. Offensichtliche Widersprüche enthält allerdings keines der Modelle.

Die größten identifizierten Schwächen liegen über alle dargestellten Modelle hinweg im Bereich der Implementierbarkeit, welche eine klare Gliederung sowie einen hohen Detaillierungsgrad des Modells fordert. In der Regel sind die Schwachstellen an dieser Stelle auf den mangelnden Detaillierungsgrad zurückzuführen. Die Modelle sind sehr allgemein gestaltet und benötigen zusätzliche Erläuterungen, um ein vollständiges Modellverständnis sicherzustellen. Randbedingungen, welche sich auf die einzelnen Strategien auswirken, sind in den Darstellungen ebenfalls nicht verankert. Darüber hinaus fehlen klare Abgrenzungskriterien zwischen den einzelnen Strategien. Vor allem die Modelle nach GILMORE und PINE sowie SCHNÄBELE zeichnen sich durch fehlende Implementierbarkeit aus. Hier lassen sich kaum konkrete Handlungsempfehlungen und Vorgehensweisen ableiten.

Die zentralen Bestandteile der Produktindividualisierung, Produktentwicklung, Produktion und Kundenintegration, sollen in den Modellen die Fragen danach beantworten, wie die Produkte gestaltet sind, wie diese hergestellt werden sowie an welcher Stelle und wie der Kunde eingebunden wird. Auffällig ist, dass über die Modelle hinweg Produktentwicklung und Produktion nicht klar voneinander abgegrenzt sind. Nur SCHNÄBELE trennt diese beiden Sichtweisen. Am wenigsten berücksichtigt wird die Kundenintegration. Es fehlen Hinweise über die Intensität der Kundenintegration sowie eine eindeutige Definition, welche Informationen vom Kunden für die Durchführung der Produktindividualisierung benötigt werden, um einer mangelnden Prozessevidenz entgegenzuwirken.

Über die eigentlichen Bewertungskriterien hinaus ist zudem der Kontext zu kritisieren, in dem die Modelle eingebettet sind. Nahezu alle in der Literatur dargestellten Modelle zur Beschreibung von Produktindividualisierung werden in Verbindung mit dem Konzept der Mass Customization gebracht. Dies bewirkt, dass klassische Konzepte der Produktindividualisierung, die vor allem am B2B-Markt vorherrschen, nicht aufgegriffen werden und keine ausreichende Berücksichtigung bei der Modellerstellung

finden. Darüber hinaus werden zur Erläuterung der Modelle in der Literatur häufig nur Beispiele, die den Konsumgütermarkt betreffen herangezogen, was den Hinweis auf den eingeschränkten Bezugsrahmen bestätigt.

Die vorgenommene Bewertung zeigt insgesamt klare Defizite in den bestehenden Modellen auf, da keines der Modelle die genannten Anforderungen in vollem Maße erfüllt. Ziel ist es daher, die Vorteile der einzelnen Ansätze aufzugreifen und in einem gesamtheitlichen Modell zusammenzuführen.

3.6.4 Anforderungen an einen Lösungsansatz und Handlungsbedarf

Wie die Bewertung zeigt, sind die bestehenden Modelle der Produktindividualisierung in dieser Form nicht geeignet, um ein Verständnis über die verschiedenen Strategien und Möglichkeiten der Produktindividualisierung zu schaffen und einen umfassenden Überblick zu geben. Aus diesem Grund ist ein neuer Ansatz zu entwickeln, der über bestehende Ideen hinausgeht, und das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Wissen zum Thema Produktindividualisierung bündelt. Dazu zählt zum einen die Betrachtung der Ausgangssituation in Kapitel 2, die den Betrachtungsrahmen definiert. Zum anderen schafft Kapitel 3 ein klares Verständnis über den Begriff der Produktindividualisierung im Rahmen dieser Arbeit und die wesentlichen zu berücksichtigenden Bestandteile und Konzepte. Die daraus abgeleiteten Anforderungen an das Modell werden im Folgenden näher erläutert.

- Das Modell muss die Problemstellungen von B2B- und B2C-Markt sowie der zugeordneten Güterkategorien berücksichtigen, um die vorhandene Heterogenität der produzierenden Industrie abzudecken.
- Die drei wesentlichen Bestandteile der Produktindividualisierung - Produktentwicklung, Produktion, Kundenintegration - müssen durch das Modell abgebildet werden, um eine vollständige Beschreibung der einzelnen Strategien zu erzielen.
- Die Ansätze des Komplexitätsmanagements müssen in das Modell integriert werden, um eine klare Strukturierung des Modells zu erzielen und die einzelnen Strategien eindeutig voneinander abzugrenzen.
- Das Modell muss einen ausreichenden Detaillierungsgrad und entsprechende Hinweise zur Umsetzung von Produktindividualisierung aufweisen, um die notwendige praktische Anwendbarkeit und Relevanz sicherzustellen.

- Ziel eines Modells muss es sein, zum einen Hilfestellung bei der Analyse verschiedener Szenarien der Individualisierung zu leisten, in dem diese eindeutig einer Strategie zugeordnet werden können, sowie zum anderen als Grundlage für die Ableitung von Strategien und Handlungsempfehlungen zu dienen.
- Das Modell muss im weiteren Verlauf der Arbeit dabei unterstützen, den Einfluss von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung zu identifizieren und Aussagen über mögliche zukünftige Veränderungen und vorhandene Potentiale zu treffen.

3.7 Zusammenfassung

Produktindividualisierung stellt ein komplexes und vielfach diskutiertes Themengebiet dar, das im allgemeinen Sprachgebrauch oft sehr weit gefasst ist. Für ein eindeutiges Verständnis muss die Produktindividualisierung daher von verwandten Begriffen und Konzepten abgegrenzt werden. Im vorliegenden Kontext bezieht sich der Begriff der Produktindividualisierung allein auf die kundenindividuelle Gestaltung von Produkten während des Wertschöpfungsprozesses.

Die Strategie der Produktindividualisierung ist grundsätzlich als Wettbewerbsstrategie zu sehen, die sich in ihrer Umsetzung durch drei wesentliche Leistungsbestandteile auszeichnet. Diese Sichtweise bietet gleichzeitig die Möglichkeit, das Themengebiet der Produktindividualisierung in einer strukturierten Art und Weise darzustellen und aufzubereiten.

In der Produktentwicklung werden die Grundlagen für die Produktindividualisierung geschaffen, indem Individualisierungsmöglichkeiten und entsprechende Freiheitsgrade definiert werden. Die Produktion stellt eine effiziente Realisierung der individualisierten Produkte sicher. Allerdings ist ohne entsprechende Informationen über die Bedürfnisse der Kunden eine Produktindividualisierung nicht möglich. Daher übernimmt die Kundenintegration ebenfalls eine zentrale Rolle. Dabei ist es wichtig, sowohl auf Anbieter- als auch auf Kundenseite ein Verständnis für die notwendigen Leistungsbeiträge des Kunden sicherzustellen. Mittels Ansätzen des Komplexitätsmanagements wird daneben durch eine entsprechende Strukturierung von Produkten versucht, die resultierende Vielfalt und Komplexität zu kontrollieren, um die Auswirkungen der Produktindividualisierung auf Entwicklung und Produktion möglichst gering zu halten.

In der Literatur existierenden einige Ansätze, die versuchen, die bestehenden Strategien und Möglichkeiten der Produktindividualisierung zu klassifizieren. Diese sind allerdings für die Anwendung in der Praxis vor allem hinsichtlich der industriellen Produktion nur bedingt geeignet. Es fehlt an ausreichend strukturierten und detaillierten Modellen, die auch den Entwicklungs- und Produktionsprozess individualisierter Produkte aufgreifen. Auf Basis der vorangegangenen Betrachtungen von Produktindividualisierung werden Anforderungen definiert, die als Basis für die Entwicklung eines geeigneten Ansatzes dienen sollen.

4 Entwicklung eines Modells zur Strukturierung und Charakterisierung von Produktindividualisierung

Wie in Kapitel 3 erläutert, ist ein Modell zu entwickeln, das die verschiedenen existierenden Strategien der Produktindividualisierung unter Berücksichtigung der Herausforderungen der industriellen Produktion bzw. produzierenden Industrie sinnvoll strukturiert und charakterisiert. In den folgenden Abschnitten wird zunächst noch einmal die zugrundeliegende Forschungsmethodik erläutert, bevor auf die Konzeption des Lösungsansatzes und die inhaltliche Ausgestaltung des Modells eingegangen wird.

4.1 Forschungsmethodik

Die Modellentwicklung im Rahmen dieser Arbeit erfolgt, wie bereits in Kapitel 1.2 geschildert, nach dem Ansatz der Design Science-Forschung, der seinen Ursprung in der Wirtschaftsinformatik findet [1]. Nach der Aussage von KUECHLER und VAISHNAVI [2] fehlt häufig eine ausreichende Relevanz und Anwendung wissenschaftlicher Arbeiten in der Praxis. Als mögliche Ursache dafür wird vor allem die unzureichende empirische Erforschung genannt. Die Design Science-Forschung versucht, diesem Problem mit einem iterativen Vorgehen zu begegnen, das sowohl die wissenschaftliche Fundierung (Rigorosität) als auch die Praxisrelevanz der Forschungsarbeit durch empirische Untersuchungen sicherstellt [3].

Die Auswahl des Ansatzes liegt daher primär in der vorliegenden Problemstellung begründet, welche die Entwicklung eines Modells mit entsprechender Praxisrelevanz anstrebt, das sich von bestehenden Forschungsarbeiten abgrenzt. Ziel ist dabei das Schaffen einer Synthese aus der Untersuchung und dem Verständnis bestehender Sachverhalte sowie der Erzeugung neuer Einsichten. Der Design Science-Ansatz offeriert eine strukturierte Vorgehensweise und einen methodischen Rahmen für dieses Forschungsvorhaben. Gleichzeitig bietet der zyklische und iterative Aufbau (siehe Bild 35) eine hohe Flexibilität in der Modellerstellung und ermöglicht so das Einbringen kurzfristiger Änderungen und neuer Erkenntnisse [3].

Die Betrachtung der drei zentralen Elemente Umwelt, Forschung und Wissensbasis bildet Grundlage für den Design Science-Ansatz. Darauf aufbauend definiert HEVNER [4] drei Design Science-Zyklen, welche als Verbindungsglieder zwischen den einzelnen Elementen fungieren und das iterative Vorgehen sicherstellen.

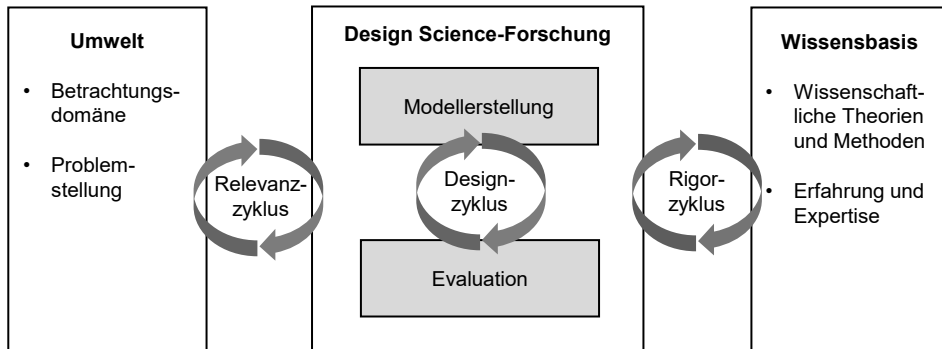


Bild 35: Die drei Zyklen der Design Science-Forschung in Anlehnung an [5]

Ziel der Umweltbetrachtung ist es, Erkenntnisse über die Zieldomäne zu erarbeiten sowie die Ausgangssituation in Hinblick auf Menschen, Organisationen, Technologien und Probleme zu beschreiben [5]. Zu diesem Zweck erfolgt in Kapitel 2 eine entsprechende Darstellung der Ausgangssituation der Produktindividualisierung im Kontext der produzierenden Industrie.

In der Wissensbasis werden die notwendigen Grundlagen in Form von Theorien, Methoden und Modellen herausgearbeitet [6]. So wird nicht nur die wissenschaftliche Fundierung der Forschung gewährleistet, sondern auch eine Abgrenzung von bestehenden Forschungsarbeiten geschaffen. Dies wird durch die in Kapitel 3 durchgeführte Betrachtung der Grundlagen der Produktindividualisierung und bestehender Modelle, sichergestellt.

Der Relevanzzyklus stellt die Schnittstelle zwischen Umwelt und Design Science-Forschung dar. Dieser liefert die notwendigen Erkenntnisse aus der Betrachtungsdomäne für die Ableitung entsprechender Anforderungen an das Modell und weiterer Implikationen für die Forschungsarbeit. Der Rigorzyklus verbindet die Design Science-Forschung mit der Wissensbasis und schafft so eine Verknüpfung zu den bereits vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnissen. Der Designzyklus hingegen bildet das iterative Vorgehen zwischen Modellentwicklung und Validierung ab. Den Kern der Design Science-Forschung stellt die Entwicklung des Modells dar. Durch die drei Zyklen wird sichergestellt, dass sowohl die Erkenntnisse aus der Betrachtung der Ausgangssituation als auch die bisherigen wissenschaftlichen Grundlagen in die Modellerstellung einfließen sowie vorhan-

denen Problemstellungen aus der Praxis ausreichend berücksichtigt und korrekt abgebildet werden. [3]

4.2 Konzeption des Modells

Neben der Auswahl einer geeigneten Forschungsmethodik ist es wichtig, einen Gestaltungsrahmen für das zu entwickelnde Modell festzulegen. Dazu zählt zum einen die methodische Einordnung des Modells in bestehende, übergeordnete Konzepte sowie zum anderen eine grundsätzliche Strukturierung, welche die Grundlage für die Ausgestaltung des Modells bildet.

4.2.1 Methodische Einordnung in RAMI 4.0

Das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 hat zum Ziel, die wesentlichen Aspekte der Industrie 4.0 in einem Modell zusammenzufassen und einen Ansatz zur Strukturierung der produzierenden Industrie bereitzustellen. Im Zentrum der produzierenden Industrie stehen Produktentwicklungs- und Produktionsszenarien, die es mit dem Referenzarchitekturmodell zu beschreiben gilt [7]. Ziel des Referenzarchitekturmodells ist die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses, das die Grundlage für die Definition von Normen und Standards darstellt und anhand dessen Zusammenhänge diskutiert sowie Technologien systematisch eingeordnet und weiterentwickelt werden können. [8]

Das Referenzarchitekturmodell ist als dreidimensionales Schichtenmodell angelegt. Die Achse „Layers“ bietet eine strukturierte schichtweise Beschreibung des digitalen Abbilds von Produkten und Anlagen. Die Achse „Hierarchy Levels“ umfasst die verschiedenen Hierarchiestufen der vertikalen Integration, beispielsweise innerhalb einer Anlage oder Fabrik. Die Achse „Life Cycle & Value Stream“ bildet den Lebenszyklus sowohl von Produkten als auch Anlagen ab. Diese gilt es im Folgenden in Bezug auf die Einordnung des zu entwickelnden Modells zur Strukturierung von Individualisierung näher zu analysieren. [9]

Im Kontext des Referenzarchitekturmodells ist der Begriff der Assets gebräuchlich. Assets sind Gegenstände, die einen Wert für eine Organisation haben. Jedes Asset durchläuft während seines Lebenszyklus verschiedene Phasen. Zentraler Bestandteil der Betrachtung des Lebenszyklus von Assets in Form von Produkten, Maschinen und Fabriken innerhalb des Modells ist die grundlegende Unterscheidung von Typ und Instanz (siehe Bild 36) [8]. Ein Typ ist allgemein als eine Beschreibung einer Menge von Dingen, die

durch gleiche Attribute und Beziehungen charakterisiert sind. In der Informatik wird zwischen Objekt- und Datentypen unterschieden. Eine Klasse stellt eine Spezialform von Typ dar. Die Klasse ist definiert als eine Menge von Objekten, die durch gleiche Attribute und gleiches Verhalten charakterisiert sind [10]. In einer Klasse können Objekte, sogenannte Instanzen, erzeugt werden, deren Attribute und Verhalten der Beschreibung der Klasse entsprechen. [11] Jede Instanz kann eindeutig einer Klasse zugeordnet werden. Eine Instanz kann eigene Werte für die in der Klasse beschriebenen Attribute besitzen. Handelt es sich bei einem Objekt um ein Unikat, so erfolgt die Beschreibung des Unikats in einer exklusiven Klasse, die dem Unikat zugeordnet wird (Unikatklasse). [12]

Im Referenzarchitekturmodell umfasst die erste Phase der Lebenszyklusachse die Entwicklung des Assets in Form eines Typs. Der Typ stellt alle notwendigen Informationen für die Vermarktung und Produktion bereit. Die zweite Phase umfasst die Produktion einer Instanz basierend auf dem zuvor definierten Typ und deren anschließenden Nutzung.

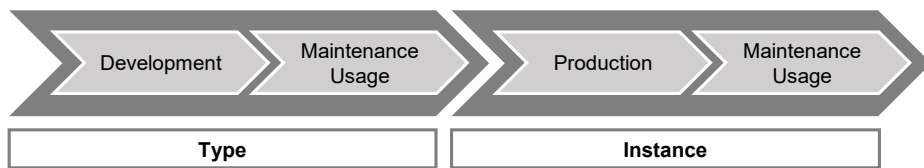


Bild 36: Lebenszyklusachse von RAMI 4.0 [8]

Assets können zudem entweder Bestandteil der physischen Welt (materielle Assets) oder der Informationswelt (immaterielle Assets) sein (siehe Bild 37). Unabhängig von seinem individuellen Lebenszyklus bleibt jedes Asset immer einer Kategorie zugeordnet. Bei physischen Objekten handelt es sich immer um materielle Assets und somit um eine Instanz. [9, 13]

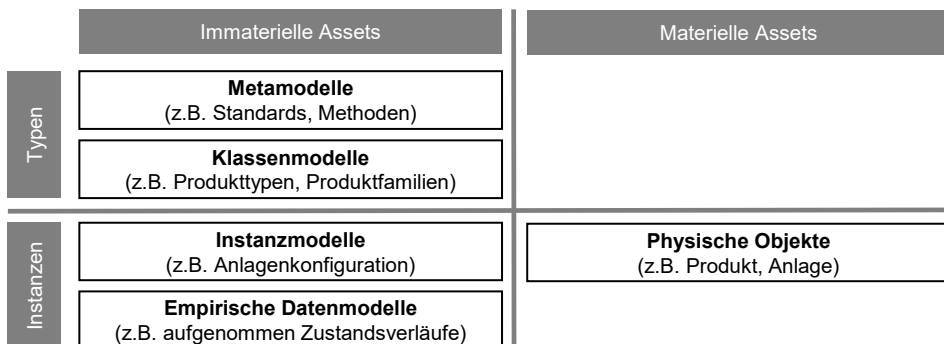


Bild 37: Kategorisierung von Assets in Anlehnung an [13]

Ein immaterielles Asset ist nicht ein Gegenstand an sich, sondern eine Beschreibung eines Objektes in der Informationswelt. Bei dem Objekt, auf das sich die Beschreibung bezieht, kann es sich entweder um ein abstraktes Objekt (Allgemeinbegriff) oder auch um ein spezielles Objekt (Individualbegriff) handeln. Dementsprechend existieren zwei Arten von immateriellen Assets. Die Bezeichnungen Typ und Instanz sind dabei jedoch in diesem Kontext unter Umständen missverständlich. Sie sollen hier ausdrücken, ob es sich bei der Beschreibung um einen Allgemein- oder einen Individualbegriff handelt. Die Lebenszyklusachse des RAMI 4.0-Modells bildet diese Unterscheidung ab (siehe Bild 36). [13]

Bei Metamodellen handelt es sich um Typen. Diese immateriellen Assets stellen grundsätzliche Standards, Grundregeln und Methoden zur Verfügung und können nicht direkt instanziiert werden. Bei der Beschreibung von Produktfamilien und auch speziellen Produkttypen handelt es sich um Klassenmodelle, die ebenfalls der Typen sind. Instanzmodelle hingegen sind auch immaterielle Assets, zählen jedoch zu den Instanzen. Sie beinhalten Festlegungen, die eine bestimmte Instanz betreffen, wie eine spezielle Konfiguration für eine Aufgabe oder die Beschreibung eines konkreten Systems. Sie beziehen sich stets auf ein konkretes physisches Objekt, welches in der Produktion gefertigt werden soll. Jede Instanz besitzt ein Instanzmodell, das beschreibt, wie diese zu fertigen ist. Empirische Datenmodelle stellen Modelle dar, die beispielsweise mittels entsprechender Datenanalysemethoden aus Lebenszykluszuständen physischer Objekte gewonnen werden. Diese sind ebenfalls Instanzen. [13]

Ziel ist eine Einordnung des zu entwickelnden Modells zur Strukturierung von Produktindividualisierung in das Referenzarchitekturmodell, um eine methodische Verankerung in die bestehenden, übergreifenden Konzepte bzw. Modelle sicherzustellen. Daher greift das zu entwickelnde Modell die Darstellung eines Produktes entlang der Wertschöpfungskette, das in der Lebenszyklusachse dargestellt wird, auf. Der Fokus wird dabei auf die Entwicklung und Produktion an sich gelegt. Die Teilabschnitte „Maintenance“ und „Usage“ werden im weiteren Verlauf der Arbeit vernachlässigt.

4.2.2 Strukturierung des Modells

Eine wesentliche Anforderung an das Modell (siehe Kapitel 3.6.4) ist das Bild der drei wesentlichen Bestandteile der Produktindividualisierung (Produktentwicklung, Produktion, Kundenintegration). Dazu ist eine entsprechende Strukturierung des Modells erforderlich. Voraussetzung für den Aufbau eines mehrdimensionalen Modells ist die Unabhängigkeit der

einzelnen Dimensionen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass vor allem Produktentwicklung und Produktion nicht unabhängig voneinander sind, sondern vielmehr aufeinander aufbauen und somit der Wertschöpfungsprozess im Ganzen betrachtet werden muss.

An dieser Stelle wird daher die Lebenszyklusachse von RAMI 4.0 (siehe Bild 36), die den Wertschöpfungsprozess abgebildet, aufgegriffen und für die Modellentwicklung herangezogen. In Hinblick auf die Produktindividualisierung lässt sich der Wertschöpfungsprozess in kundenanonyme und kundenauftragsbezogene Aktivitäten unterteilen, wie es auch das Konzept der Kundenentkopplungspunkte (siehe Kapitel 3.6.2) vorsieht. Je nach Anteil an kundenanonymen und kundenauftragsbezogenen Aktivitäten am Wertschöpfungsprozess lassen sich verschiedene Strategien. So bildet der Wertschöpfungsprozess die erste Dimension des Modells. [P1]

Auf einer zweiten Achse werden die verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung abgebildet, die sich durch ihr jeweiliges Vorgehen in Produktentwicklung und Produktion unterscheiden. Durch diese Gegenüberstellung wird es möglich, für die einzelnen Strategien den Zeitpunkt im Wertschöpfungsprozess hervorzuheben, an welchem die Unterteilung in kundenanonyme und kundenauftragsbezogene Tätigkeiten stattfindet. Dabei handelt es sich um den Zeitpunkt, an dem die Informationen des Kunden vorliegen müssen, das heißt den spätestmöglichen Zeitpunkt der Kundenintegration. So lässt sich auch der Aspekt der Kundenintegration in das zweidimensionale Modell einfügen. Das Modell schafft es auf diese Art und Weise, alle drei Leistungsbestandteile der Produktindividualisierung aufzugreifen. Auf die Ausgestaltung der beiden Dimensionen des Modells wird im Nachfolgenden näher eingegangen.

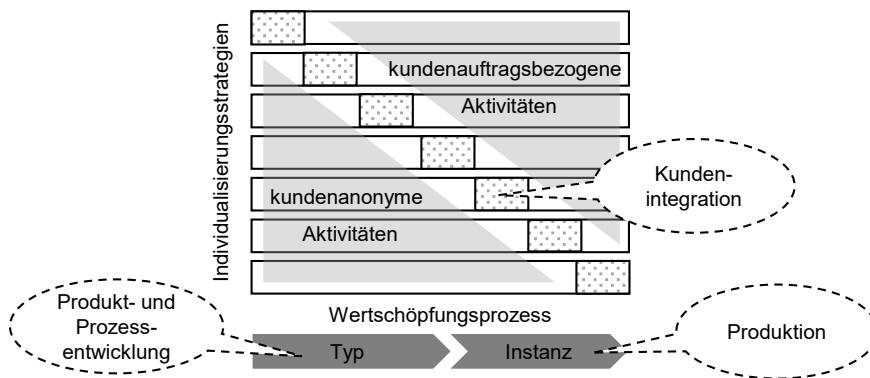


Bild 38: Modellkonzept zur Strukturierung von Produktindividualisierung

4.3 Wertschöpfungsprozesse in der Produktindividualisierung

Zur Detaillierung der Wertschöpfungsachse des Modells gilt es, die Lebenszyklusachse von RAMI 4.0 näher zu spezifizieren. Dabei muss zunächst identifiziert werden, welche Wertschöpfungsschritte für die Charakterisierung von Produktindividualisierung zu berücksichtigen sind. Zudem muss ein geeignetes Mittelmaß zwischen Detaillierung und Allgemeingültigkeit gefunden werden. Ein zu hoher Detaillierungsgrad erschwert in der Regel genauso wie ein zu hohes Abstraktionsniveau die Anwendbarkeit des Modells. Dazu werden im Folgenden bestehende Ansätze zur allgemeinen Untergliederung des Wertschöpfungsprozesses betrachtet, bevor eine entsprechende Ausgestaltung der Wertschöpfungsachse vorgenommen wird.

4.3.1 Möglichkeiten zur Untergliederung des Wertschöpfungsprozesses

Grundsätzlich existieren mehrere Möglichkeiten, den Wertschöpfungsprozess zu untergliedern. Eine bekannte Einteilung stellt das Modell der Wertkette nach PORTER [14] dar. PORTER nimmt, wie in Bild 39 zu sehen, eine Unterscheidung in primäre und unterstützende Aktivitäten vor. Die Technologie- bzw. Produktentwicklung wird dabei zu den unterstützenden Aktivitäten und die Produktion (Operationen) zu den primären Aktivitäten gezählt. Diese bauen somit nicht unmittelbar aufeinander auf, was die Herstellung eines Bezugs zur Lebenszyklusachse von RAMI 4.0 erschwert. Eine weitere Detaillierung von Produktentwicklung und Produktion findet hier zudem nicht statt. Insgesamt erscheint das Modell somit für eine weitere Detaillierung der Wertschöpfungsachse nicht geeignet. [P2]

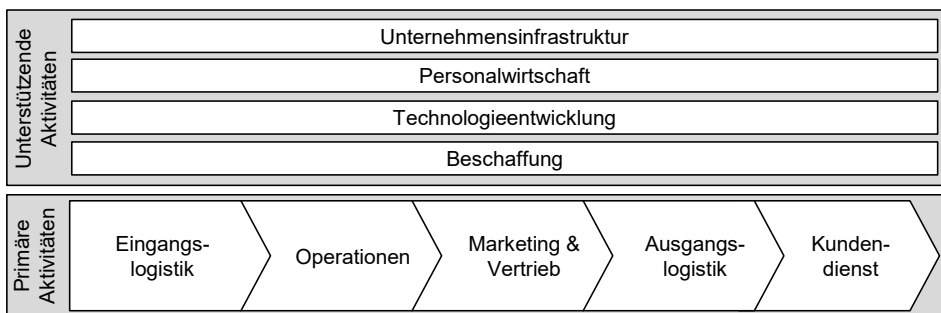


Bild 39: Modell der Wertschöpfungskette nach Porter [14]

Ein weiteres Referenzmodell stellt das Modell der Wertschöpfungsketten im Kontext der Industrie 4.0 dar (siehe Bild 40). Es unterteilt den Wertschöpfungsprozess in vier Wertschöpfungsketten: die Produkt- und Produktlinienentwicklung, die Prozessentwicklung, welche die Verfahrens- und Anlagenentwicklung umfasst, die Produktproduktion sowie den Anlagenbau und -betrieb. Darüber hinaus umfasst das Referenzmodell Serviceaktivitäten, die sich maßgeblich auf den After-Sales-Service und die Anlageninstandhaltung beziehen. Die Wertschöpfungsketten bilden sowohl den Lebenszyklus des Produktes selbst als auch den Lebenszyklus der notwendigen Anlagen ab.

In Bezug auf die Produktindividualisierung sind dabei vor allem drei Wertschöpfungsketten von Bedeutung: der Lebenszyklus des Produktes, welcher sich aus der Produkt- und Produktlinienentwicklung zusammensetzt, die Gestaltung des Produktionsprozesses, welche der Wertschöpfungskette der Verfahrens- und Anlagenentwicklung zuzuordnen ist, sowie die Produktion an sich. Zwar lassen sich diese Wertschöpfungsketten weiter in einzelne Wertschöpfungsprozesse untergliedern, allerdings ist diese Unterteilung auch sehr allgemein gehalten. Die Wertschöpfungskette Produkt- und Produktlinienentwicklung setzt sich beispielsweise aus den Prozessen Produktentwicklung, Produktlinienplanung, Produktlinienpflege und Abkündigungsmanagement zusammen [15]. Dennoch bietet das dargestellte Modell eine gute Grundlage und Strukturierung für die weitere Detaillierung der Wertschöpfungsachse an.

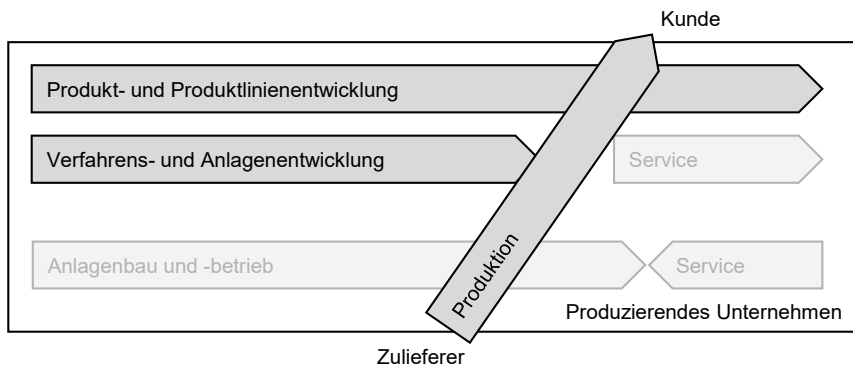


Bild 40: Wertschöpfungsketten in der Industrie 4.0 in Anlehnung an [15]

Darüber hinaus ist in der Literatur an einigen Stellen eine Unterteilung des Wertschöpfungsprozesses in Entwicklung, Konstruktion, Fertigung und Montage zu finden. Zum Teil wird zusätzlich noch die Arbeitsvorbereitung als Wertschaffungsschritt aufgeführt. Auch diese Einteilung ist zu

unpräzise. Aus diesem Grund werden im nächsten Schritt die Produktentwicklung und Produktion getrennt voneinander betrachtet und Möglichkeiten der weiteren Detaillierung gesucht. Die Prozessentwicklung in Form der Definition der erforderlichen Fertigungsschritte weist im vorliegenden Kontext keine Notwendigkeit für eine weitere Detaillierung auf und wird daher nur kurz erläutert. Das Ergebnis der Prozessentwicklung wird ebenso wie das der Produktentwicklung als Typ in die Lebenszyklusachse eingeordnet.

Produktentwicklung

Es existieren verschiedene Möglichkeiten, den Prozess der Produktentwicklung näher zu spezifizieren. Einen bekannten Ansatz stellen die Hauptprozessschritte des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses nach PAHL und BEITZ dar (siehe Bild 41) [16]. Diese unterscheiden vier Schritte beginnend mit der Phase der Planung und Klärung der Aufgabe, gefolgt vom Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten.

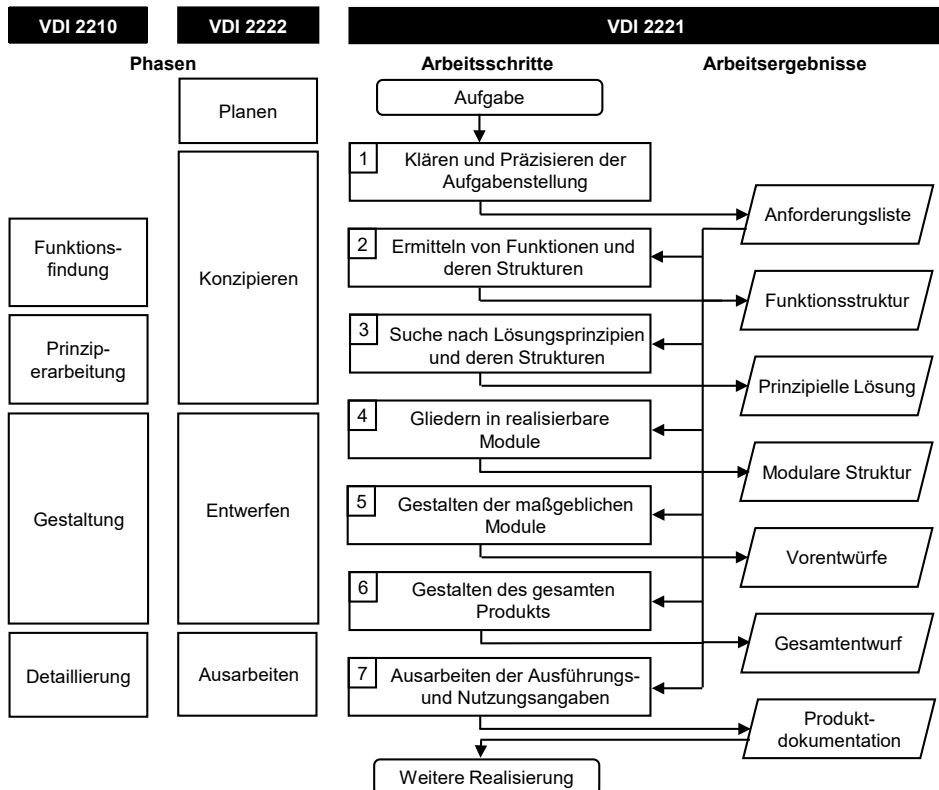


Bild 41: Gegenüberstellung verschiedener Richtlinien in der Produktentwicklung in Anlehnung an [20]

Das Modell nach PAHL und BEITZ dar fungiert als Grundlage für die VDI Richtlinie 2221 [17], die erstmals die vorhandenen Erkenntnisse zum Entwicklungs- und Konstruktionsprozess in einem allgemeinen Prozessmodell zusammenfasst. Daneben existieren die VDI Richtlinie 2222 „Konstruktionsmethodik“ [18] und die VDI Richtlinie 2210 „Datenverarbeitung in der Konstruktion“ [19]. Einen Überblick über die verschiedenen Richtlinien gibt das nachfolgende Bild.

Ziel ist es, den Prozess der Produktentwicklung auf Basis dieser Erkenntnisse für die Ausgestaltung der Wertschöpfungsdimension im Modell zu detaillieren. Den höchsten Detaillierungsgrad weist die VDI Richtlinie 2221 auf, die zu den einzelnen Phasen darüber hinaus jeweils das zugehörige Arbeitsergebnis aufzeigt. Daher wird diese auch für die weitere Betrachtung herangezogen.

Prozessentwicklung

Der Produktentwicklung folgt die Planung und Gestaltung der notwendigen Produktionsprozesse. Dies wird im Nachfolgenden unter dem Schritt der Fertigungsplanung zusammengefasst. Inhalt dieses Schrittes ist die Erstellung eines Arbeitsplans. Dieser ist die Grundlage für die NC-Programmierung sowie die Fertigungsmittelkonstruktion und den Fertigungsmittelbau, die ebenfalls Bestandteil der Gestaltung der Produktionsprozesse sind. [21–23]

Produktion

Für den Produktionsprozess fehlt eine systematische Untergliederung in diesem Detaillierungsgrad. Es existiert eine grundsätzliche Einteilung in Vor- bzw. Teilefertigung sowie Vor- und Endmontage. Darüber hinaus führen einige Autoren daneben zusätzlich die Veredelung als abschließenden Schritt der Produktion auf (siehe Bild 42). [24, 22]

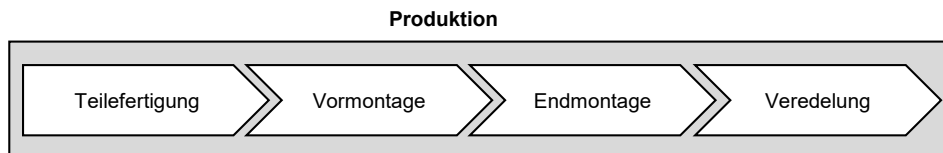


Bild 42: Schritte des Produktionsprozesses

Wie viele Schritte im Produktionsprozess erforderlich sind, hängt maßgeblich von dem zu fertigenden Produkt ab. Es können grundsätzlich einstufige und mehrstufige Produktionsprozesse vor allem in Bezug auf die Montage unterschieden werden. Ein Produktionsprozess wird dann als

mehrstufig bezeichnet, wenn zum einen mehrere Betriebsmittel bis hin zum Endprodukt durchlaufen werden müssen, sich zum anderen der Materialfluss über die Betriebsmittel hinweg verändert. [25] Die Anzahl der notwendigen Produktionsstufen vom Rohmaterial bis hin zum Endprodukt orientiert sich dabei in der Regel an der Anzahl der Stufen in der Produktstruktur. Es existieren nur sehr wenige Produkte, die sich in einem einstufigen Produktionsprozess herstellen lassen. Aufgrund der technischen Komplexität besitzen die meisten Produkte mehrstufige Produktionsprozesse. Da sich die Anzahl der notwendigen Stufen im Produktionsprozess stark unterscheidet und unter Umständen nicht jedes Produkt alle oben abgebildeten Schritte durchläuft, ist es schwierig, eine allgemeingültige Ableitung für das Modell zu treffen, die über den oben abgebildeten Detaillierungsgrad hinausgeht.

4.3.2 Ansatz zur Detaillierung des Wertschöpfungsprozesses im Hinblick auf Produktindividualisierung

Die weitere Herausforderung besteht darin, anhand der im vorherigen Abschnitt erarbeiteten Detaillierungsstufen ein konsistentes Gesamtbild zu entwickeln, das sich auf den vollständigen Betrachtungsraum bezieht und die vorhandene Heterogenität der produzierenden Industrie abdeckt. Bild 43 zeigt das Ergebnis der bisherigen Ausführungen.

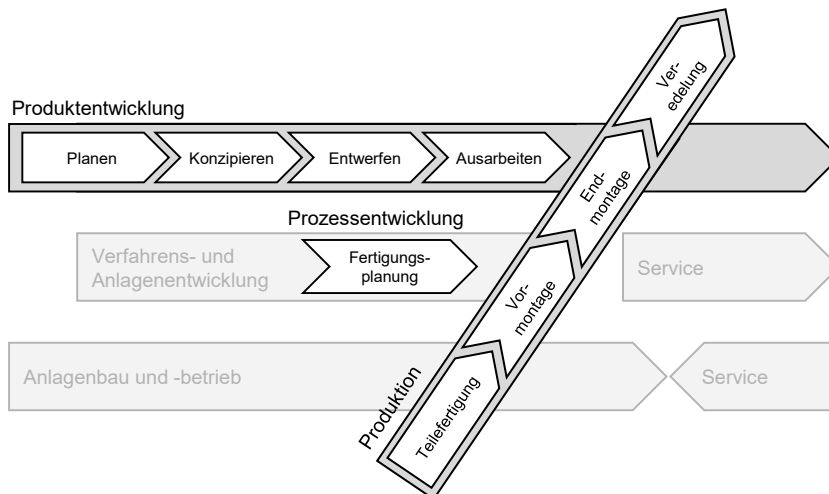


Bild 43: Detaillierung der relevanten Wertschöpfungsketten in Anlehnung an [22]

Es wird ersichtlich, dass keine Konsistenz in der Formulierung über die einzelnen Wertschöpfungsketten hinweg vorliegt. Weitere Forschungsarbeiten zeigen, dass es sich grundsätzlich schwierig gestaltet, eine übergreifende Form der Beschreibung für die einzelnen Prozessschritte zu entwickeln, die Produktentwicklung und Produktion gleichermaßen gerecht wird. Aus diesem Grund wird auf die Arbeitsergebnisse der einzelnen Prozessschritte in der Produkt- und Prozessentwicklung zurückgegriffen (siehe Bild 41). Analog lassen sich auch für die einzelnen Produktionsschritte entsprechende Arbeitsergebnisse formulieren. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht.

Tabelle 8: Arbeitsergebnisse entlang des Wertschöpfungsprozesses

Produkt- und Prozessentwicklung	Produktion
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen • Funktionen • Lösungsprinzipien • Produktstruktur • Produktmodell • Arbeitsplan • NC-Programme 	<ul style="list-style-type: none"> • Teile • Baugruppen • Endprodukt • Veredeltes Endprodukt

Im Bereich der Produktentwicklung lassen sich jedoch nicht nur verschiedene Arbeitsergebnisse, sondern vor allem auch unterschiedliche Arten der Produktbeschreibung in Form von Modellen, die kontinuierlich über den Prozess hinweg weiterentwickelt und konkretisiert werden, unterscheiden [26]. Die einzelnen Modelle werden durch verschiedene Arten von Informationen beschrieben. So bildet beispielsweise ein Funktionsmodell die verschiedenen Funktionen eines Modells ab, während das 3D-Modell aus Geometrieinformationen aufgebaut wird.

Auch in der Produktion liegen verschiedene Arten von Informationen vor. Die Teilefertigung, die Montage und die Endbearbeitung benötigen jeweils spezifische Informationen für die Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte. Dementsprechend kann ein Produkt entlang des Wertschöpfungsprozesses durch verschiedene Informationsarten beschrieben werden. Diese Informationsarten werden im Folgenden eingesetzt, um den Wertschöpfungsprozess anhand verschiedener Konkretisierungsebenen des Produktes zu beschreiben. Ein ähnlicher Ansatz ist auch bei KOHN [26] zu finden, der sich allerdings nur auf die Produktentwicklung bezieht.

Die Beschreibung des Wertschöpfungsprozesses anhand von verschiedenen Informationsarten zeigt zudem eine Querverbindung zur Kundenintegration auf. Die Kundenintegration erfordert, wie bereits beschrieben, das Vorliegen bestimmter Informationen zu einem definierten Zeitpunkt seitens des Kunden. So beschreiben die einzelnen Konkretisierungsebenen des Produktes gleichzeitig, welche Art von Informationen auf der jeweiligen Ebene vom Kunden im Zuge der Produktindividualisierung eingebracht werden müssen. Alternativ kann je nach Art der vorliegenden Informationen ermittelt werden, an welcher Stelle im Wertschöpfungsprozess der Kunde integriert werden kann.

Im Nachfolgenden wird so im Hinblick auf die Produktindividualisierung und vor allem auch die Kundenintegration anhand der einzelnen Informationsarten ein konsistentes Gesamtbild mit einem angemessenen Detaillierungsgrad über den Wertschöpfungsprozess hinweg entwickelt.

4.3.3 Informationsarten entlang des Wertschöpfungsprozesses

Es lassen sich so insgesamt neun Konkretisierungsebenen eines Produktes entlang des Wertschöpfungsprozesses unterscheiden (siehe Bild 44). Die jeweiligen Informationsarten, welche die einzelnen Konkretisierungsebenen beschreiben, werden nachfolgend im Detail erläutert.

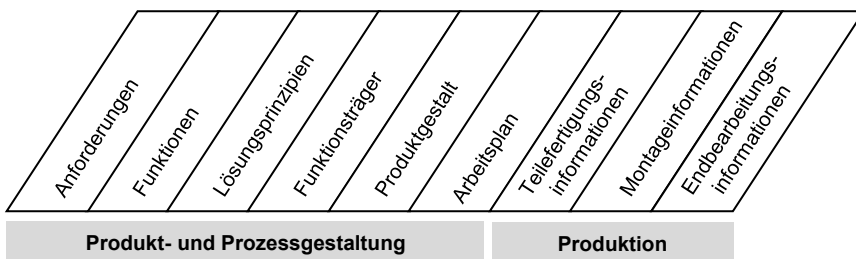


Bild 44: Detaillierung des Wertschöpfungsprozesses der Produktindividualisierung anhand von Informationsarten

Anforderungen

Die erste notwendige Konkretisierungsebene ist die Formulierung von Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt. Dabei kann es sich zum einen um spezifische Anforderungen eines Kunden handeln, wenn dieser von Beginn an in den Wertschöpfungsprozess eingebunden wird, oder auch um allgemeine Anforderungen, die in der Produktplanung festgelegt werden und sich vorwiegend aus Markt- und Technologietrends ergeben.

Dokumentiert werden die Anforderungen in Form einer Anforderungsliste. Dabei ist es wichtig, alle Anforderungen präzise zu formulieren und auf Vollständigkeit zu prüfen, da die Anforderungsliste als Informationsgrundlage für die nachfolgende Produktentwicklung dient und so spätere Fehler vermieden werden können.

Funktionen

Die nächste Konkretisierungsebene stellt eine Abstraktion der zu erfüllenden Aufgabe auf Basis der Anforderungen in Form einer Definition der Funktionen dar. Ausgangspunkt ist die Gesamtfunktion des Produktes, die weiter in Haupt- und Teilfunktionen untergliedert wird. Diese werden systematisch in Form einer Funktionsstruktur abgebildet, die das Produkt auf Funktionsebene beschreibt. Die Funktionsstruktur enthält sowohl generische Funktionen, die vom Kunden häufig als selbstverständlich erachtet werden, und Funktionen, die das Produkt aus Sicht des Kunden definieren und somit entscheidende Produktmerkmale darstellen. [27]

Lösungsprinzipien

Alle definierten Funktionen gilt es anschließend durch entsprechende Lösungen in Form von Wirk- oder Gestaltungsprinzipien zu transformieren. Jeder Teilfunktion wird ein Lösungsprinzip zugeordnet. Dabei ergeben sich häufig mehrere Lösungsmöglichkeiten. Das Ergebnis stellt die prinzipielle Lösung dar. Durch die Auswahl des gewünschten Lösungsprinzips oder die Formulierung entsprechender Anforderungen an die einzelnen Lösungsprinzipien bietet sich auch auf der Ebene der prinzipiellen Lösung die Möglichkeit zur Beeinflussung durch den Kunden. [20]

Physische Funktionsträger

Die Festlegung der physischen Funktionsträger erfolgt auf Basis der Lösungsprinzipien. Für jedes Lösungsprinzip gilt es eine oder mehrere Komponenten zu definieren, die das Lösungsprinzip und somit auch die dahinterliegende Funktion erfüllen. Die physischen Funktionsträger werden in der Produktstruktur, welche der Definition der zentralen Produktkomponenten dient, dokumentiert. Gleichzeitig bildet die Produktstruktur auch den physischen Zusammenbau der Komponenten in Baugruppen ab [27]. Das Vorgehensmodell der VDI Richtlinie 2221 führt diesen Schritt nach der Festlegung der prinzipiellen Lösung nicht explizit auf. Allerdings wird dieser ergänzend in das Modell aufgenommen, da die Definition der einzelnen Komponenten ebenfalls einen Ansatz zur Beeinflussung durch den Kunden im Sinne der Produktindividualisierung bietet.

Produktgestalt

Die Gestalt eines technischen Produktes beschreibt dessen geometrische und werkstoffliche Eigenschaften wie Form, Größe, Werkstoffart und Werkstoffoberfläche [28]. Aufgabe der Konstruktion ist es im Zuge der Entwicklung der Produktgestalt, ein vollständiges virtuelles Abbild des Produktes zu schaffen. Dabei wird die Produktstruktur in ein geometrisches Modell überführt, das alle wesentlichen Informationen zur geometrischen Gestalt und den Werkstoffeigenschaften des Produkts enthält. Dies entspricht dem Schritt *Entwerfen*. Die in VDI 2221 aufgeführten Teilschritte werden dabei vernachlässigt, da diese Unterteilung keinen wesentlichen Mehrwert im Hinblick auf die Produktindividualisierung schafft. Im Gegenteil würde dies vielmehr eine entsprechende eindeutige Zuordnung zu einem Teilschritt erschweren. Daher wird hierzu eine Konkretisierungsebene gewählt, die alle Ergebnisse des Schrittes *Entwerfen* zusammenfasst. Die Beeinflussung der geometrischen Gestalt durch den Kunden umfasst Änderungen, die keinen Einfluss auf die Produktstruktur nehmen. Dabei handelt es sich beispielsweise um Änderungen von einzelnen Abmaßen oder das Hinzufügen von geometrischen Features.

Arbeitsplan

Den letzten Schritt vor der tatsächlichen Umsetzung des Produktes in der Produktion stellt die Erstellung eines Arbeitsplans dar. In der Regel erfolgt diese bereits begleitend zur Produktgestaltung. Allerdings ermöglicht die Form der Darstellung nicht, dies explizit hervorzuheben. Auf Basis der Produktstruktur und der Geometrieinformationen werden die zur Realisierung des Produktes notwendigen Fertigungsschritte sowie deren Reihenfolge und die benötigten Ressourcen definiert. Die einzelnen Fertigungsschritte werden dabei in Form einer Prozessstruktur veranschaulicht.

Teilefertigungsinformationen

Die Teilefertigungsinformationen beschreiben die notwendigen im Arbeitsplan definierte Vorgänge zur Produktion der Einzelteile aus Rohstoffen oder Halbzeugen im Detail. Dazu zählt sowohl NC-Programme als auch die Einstell- und Bearbeitungsinformationen für die entsprechenden Maschinen und Anlagen sowie Arbeitsablaufbeschreibungen für manuelle Tätigkeiten. Im Idealfall können die NC-Programme direkt in Form einer CAD/CAM-Kopplung aus den Geometrieinformationen des Produktes abgeleitet werden.

Montageinformationen

Die Montageinformationen stellen die Anweisungen dar, die beschreiben, wie das Produkt in den verschiedenen Montageschritten aus seinen Einzelteilen zusammengebaut wird. Die Produktstruktur gibt hier sinnvolle Hinweise für die Strukturierung der Montage und die Ableitung der entsprechenden Montageinformationen. Da allerdings nicht alle Produkte einen mehrstufigen Montageprozess erfordern (vergleiche Kapitel 4.3.1), wird im Rahmen der Modellgestaltung auf eine Gliederung in Vor- und Endmontage verzichtet.

Endbearbeitungsinformationen

Die Endbearbeitungsinformationen beziehen sich auf den optionalen Schritt der Veredelung eines Produktes. Dabei kann nach Abschluss des Montageprozesses das Aussehen des Endproduktes beeinflusst werden. Auf die Funktionen eines Produktes wird dabei in der Regel kein Einfluss genommen. Je nach Form der Endbearbeitung handelt es sich dabei um verschiedene Arten von Informationen. Wird beispielsweise ein Produkt abschließend lackiert, stellen die Endbearbeitungsinformationen Anweisungen für die zu verwendende Farbe und das gewählte Lackierverfahren dar.

4.4 Strategien der Individualisierung

Aufbauend auf den theoretischen Betrachtungen zu Grundlagen der Produktindividualisierung und der Betrachtung der Umsetzung von Individualisierung anhand von verschiedenen Beispielen aus der Praxis kristallisieren sich insgesamt sieben verschiedene Strategien der Produktindividualisierung heraus, die sich, wie in Bild 45 dargestellt, durch ein unterschiedliches Maß an Individualisierung und Standardisierung auszeichnen. Wesentliche Entscheidungskriterien sind dabei die zugrundeliegende Vorgehensweise in der Produkt- und Prozessgestaltung sowie die entsprechenden Freiheitsgrade, die dem Kunden darauf aufbauend im Zuge der Produktindividualisierung zur Verfügung gestellt werden.

In den nachfolgenden Abschnitten werden diese sieben Strategien im Detail betrachtet. Die einzelnen Strategien nicht nur erläutert, sondern jeweils anhand eines plakativen Beispiels veranschaulicht, um deren praktische Relevanz herauszustellen und deren Einfluss auf den Wertschöpfungsprozess in Bezug auf die oben definierten Konkretisierungsebenen des Produktes analysiert.

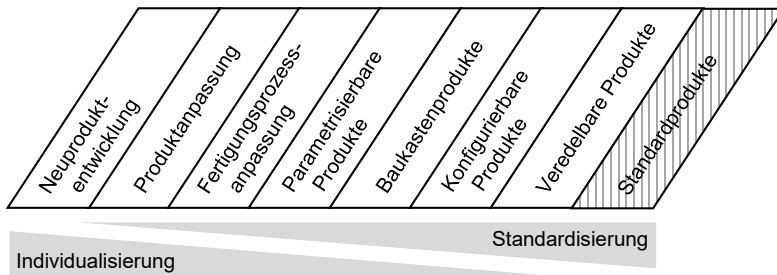


Bild 45: Übersicht über die erarbeiteten Strategien der Produktindividualisierung

4.4.1 Neuproduktentwicklung

Bei der Neuproduktentwicklung handelt es sich um eine Strategie der Produktindividualisierung, welche die Entwicklung von vollständig individualisierten Produkten vorsieht. Der Kunde wird von Beginn an in den Prozess der Produktentwicklung eingebunden, wodurch die Strategie der Neuproduktentwicklung auch den höchsten Freiheitsgrad aufweist. Auf Basis der Spezifikation des Kunden wird ein neues Produkt mit individuellem Design entwickelt.

Dementsprechend findet im Zuge der Neuproduktentwicklung keine kundenanonyme Vorkombination statt (vergleiche Kapitel 3.2.2). Es existieren jedoch Metamodelle in Form von Standards und Methoden (siehe Bild 37), die eine Grundlage für die Entwicklung des Produktes bereitstellen. Der Produktentwicklungsprozess orientiert sich an prinzipiellen Vorgehensweisen und auch an den Entwicklungsprozessen vorhergehender Produkte, sofern eine entsprechende Ähnlichkeit vorliegt. Allerdings gibt es keine vorgedachten Lösungen, auf die Produktindividualisierung gezielt aufsetzt, sondern lediglich die Idee des Kunden, die es in Form von Anforderungen zu formulieren gilt.

Dennoch wird im Zuge der Neuproduktentwicklung, sofern dies möglich ist, unter dem Gesichtspunkt der Wiederverwendung auf vorhandene Lösungsbestandteile zurückgegriffen, um den Entwicklungsaufwand möglichst gering zu halten. Dabei kann es sich beispielsweise um vorhandene Produktmodelle, Konzepte oder Komponenten handeln. Dies gilt es aber eindeutig von der im nachfolgenden Punkt dargestellten Strategie der Produkthanpassung abzugrenzen.

Tabelle 9: Beispiel für die Strategie der Neuproduktentwicklung

Beispiel
Ein Hersteller von Sondermaschinen entwickelt Werkzeugmaschinen auf Basis von Kundenanforderungen. Der Kunde formuliert auf Basis seines auf der Anlage zu fertigenden Produktes und des geplanten Standorts seine Anforderungen an eine Fräsmaschine hinsichtlich Punkten wie Geometrie, Kinematik, Leistung, Ergonomie, Nutzung, Instandhaltung sowie Termine und Kosten. Auf Basis der Anforderungen des Kunden an die Fräsmaschine wird eine detaillierte Anforderungsliste erstellt, die durch den Maschinenhersteller nochmals hinsichtlich fehlender Informationen und Inkonsistenzen geprüft wird.

4.4.2 Produktanpassung

Die Strategie der Produktanpassung weist ähnlich wie die Neuproduktentwicklung einen hohen Freiheitsgrad auf. Allerdings wird der Entwurf des Produktes von einem bestehenden Produkt oder einem vorhandenen Modulbaukasten abgeleitet. Die Anpassungskonstruktion verlangt folglich das Vorhandensein bestehender Modelle, die im Rahmen der Produktanpassung modifiziert werden. Es existiert dabei im Gegensatz zur Neuproduktentwicklung eine kundenanonyme Vorkombination, die als Grundlage für die Anpassung herangezogen wird. Die Vorkombination besteht aus einem vorhandenen Produktspektrum, aus dem ein Produkt entweder durch den Kunden oder den Anbieter ausgewählt wird, welches den Kundenwünschen am ehesten entspricht und dann entsprechend angepasst wird.

Die Anpassung ist jedoch auf einzelne Teilbereiche des Produktes beschränkt und die Produktstruktur wird dabei nicht grundsätzlich verändert. Dementsprechend ist der Freiheitsgrad der Produktanpassung gegenüber der Neuproduktentwicklung deutlich eingeschränkt. Art und Umfang der Anpassungsaktivitäten richten sich nach dem Neuheitsgrad und der Spezifität der jeweiligen Kundenwünsche. Ist kein passendes Produkt vorhanden, das sich für die Anpassung eignet oder ist die kundenspezifische Anpassung im vom Kunden geforderten Umfang nicht durchführbar, so muss eine Neuproduktentwicklung durchgeführt werden.

Die Produktanpassung kommt im Gegensatz zu anderen Strategien der Produktindividualisierung in unterschiedlichen Konkretisierungsstufen des Produktes entlang des Produktentwicklungsprozesses zum Einsatz. Die Produktanpassung kann sowohl bereits auf Funktionsebene stattfinden als auch erst auf Ebene der geometrischen Gestalt. In Abhängigkeit von der jeweiligen Konkretisierungsstufe, auf welche die Produktanpassung

aufsetzt, sind dann entsprechend unterschiedliche Stufen im Produktentwicklungsprozess zu durchlaufen. Dementsprechend werden im Folgenden auch mehrere Beispiele für die Strategie der Produkthanpassung aufgeführt.

Tabelle 10: Beispiele für die Strategie der Produkthanpassung

Beispiele
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Automobilhersteller benötigt für eine neue Fertigungslinie Schraubwerkzeuge. Da sich die Schraubstellen allerdings an schwer zugänglichen Stellen der Karosserie befinden, wird eine Beleuchtung der Schraubstelle benötigt, um Fehler bei der Montage zu vermeiden. Der Automobilhersteller stellt eine Anfrage an einen bekannten Hersteller von Schraubwerkzeugen, der Werkzeuge mit der geforderten Leistungsspezifikation anbietet und fordert zusätzlich die Funktion „Schraubstelle beleuchten“. ▪ Ein Hersteller von Elektromotoren bietet verschiedene Motorgrößen, die mittels Luft gekühlt werden. Individualisierungsmöglichkeiten sind nicht festgelegt. Ein Kunde wählt eine Motorgröße aus und formuliert aufgrund der geringeren Geräuschentwicklung den Wunsch einer Wasserkühlung. Auf Basis des Kundenwunsches wird nach Prüfung der Realisierbarkeit für den gewählten Motor das vordefinierte Wirkprinzip der Luftkühlung durch die Wasserkühlung ersetzt. Durch die entsprechende anschließende Anpassung des Produktes findet eine Individualisierung auf der Ebene der prinzipiellen Lösung statt. ▪ Ein Roboterhersteller versieht seine Produkte mit dem Steuerungsmodell eines bestimmten Anbieters. Der Kunde verwendet allerdings in seiner Fertigungslinie durchgängig Steuerungssysteme eines anderen Anbieters. Um Schnittstellenprobleme zu vermeiden und die Kompatibilität mit der bestehenden Steuerungsarchitektur sicherzustellen, formuliert der Kunde bei der Bestellung eines Roboters den Wunsch des Einbaus einer anderen Steuerung. Die Funktion wird dadurch nicht beeinflusst, allerdings wird eine Komponente durch einen äquivalenten physischen Funktionsträger ersetzt. ▪ Um die Montierbarkeit zusätzlicher Fußschutzkappen sicherzustellen und nicht durch nachträgliche Bohrungen die Festigkeit und Funktionalität negativ zu beeinflussen, fordert ein Hersteller von Kinderfahrrädern bei der Bestellung von Pedalen für sein neues Produkt das Anbringen zweier zusätzlicher Bohrungen. Der Pedalhersteller kann diese im geometrischen Modell des Pedals einfügen und anhand dessen auf Realisierbarkeit prüfen. Gegebenenfalls müssen dazu Festigkeitsberechnungen durchgeführt werden. Die zusätzlichen Bohrungen nehmen keinen Einfluss auf das Produkt an sich, allerdings gilt es einen zusätzlichen Fertigungsschritt für das Bohren in der weiteren Planung zu berücksichtigen.

4.4.3 Fertigungsprozessanpassung

Die Strategie der Fertigungsprozessanpassung setzt auf die Fertigungsprozessstruktur auf. Wie bereits erläutert, sind in der Fertigungsprozessstruktur die einzelnen Fertigungsschritte und deren Reihenfolge festgelegt, die für die Realisierung eines Produktes erforderlich sind. Hierbei handelt es sich in der Regel um einen Entwurf des Anbieters, basierend auf dessen Erfahrungswerten und zur Verfügung stehenden Ressourcen. Zum Teil werden auch für unterschiedliche Stückzahlen aus Wirtschaftlichkeitsgründen verschiedene Fertigungsverfahren eingesetzt. Vor allem im Bereich kleinerer Stückzahlen eignen sich häufig Fertigungsverfahren besser, die in der Serienfertigung unwirtschaftlich sind.

Ebenso wie eine Anpassung des Produkts auf Basis von Kundenwünschen durchgeführt wird, kann im Rahmen der Produktindividualisierung auch eine Anpassung des Fertigungsprozesses eines Produktes stattfinden. Das Produkt an sich wird dabei allerdings in seiner Funktionalität, Struktur und Gestalt nicht verändert. Jedoch können sowohl Kosten als auch einzelne Eigenschaften eines Produktes durch die Wahl eines entsprechenden Fertigungsverfahrens beeinflusst werden.

Voraussetzung für die Anpassung des Fertigungsprozesses ist jedoch immer die Existenz eines alternativen Fertigungsverfahrens, das für die Herstellung eines Produktes eingesetzt werden kann. Dies bezieht sich sowohl auf die technologische Machbarkeit als auch auf die vorhandenen Möglichkeiten und Ressourcen des Anbieters. Eine bedeutende Rolle im Kontext alternativer Fertigungsverfahren spielt vor allem die additive Fertigung, die nicht nur das Potential besitzt, zahlreiche Fertigungsverfahren zu ersetzen, sondern auch die Anzahl notwendiger Prozessschritte deutlich zu reduzieren [29].

Genauso wie bei der Produkthanpassung sind auch hier die Möglichkeiten zur Individualisierung nicht vorgedacht. Auch wenn ein Anbieter verschiedene Fertigungsverfahren abdeckt, so ist doch in der Regel für jedes Produkt in Abhängigkeit von der Stückzahl ein bestimmter Fertigungsprozess vorgesehen. In der Regel gehen entsprechende Anpassungswünsche dabei mit steigenden Kosten einher, die vom Kunden getragen werden müssen.

Bei der Fertigungsprozessanpassung handelt es sich um eine Strategie der Individualisierung, die in der Literatur häufig vernachlässigt wird. Aus diesem Grund findet diese auch in Kapitel 3 keine Erwähnung. Allerdings zeigt die detaillierte Betrachtung des Wertschöpfungsprozesses und der

einzelnen Konkretisierungsstufen des Produktes, dass die Definition der Fertigungsprozessstruktur einen wichtigen Schritt darstellt und vor allem auch Potential für die Beeinflussung durch Kundenwünsche im Sinne der Produktindividualisierung bietet.

Tabelle 11: Beispiel für die Strategie der Fertigungsprozessanpassung

Beispiel
Ein Hersteller von Elektromotoren kauft die benötigten Blechpakete zu. Der Zulieferer sieht bei der gewählten Blechpaketgeometrie das Verfahren des Stanzpaketierens zur Paketbildung vor. Der Elektromotorhersteller wünscht allerdings aufgrund der besseren elektromagnetischen Eigenschaften und der geringen mechanischen Belastung in seinem Produkt geklebte Blechpakete. Da der Hersteller sowohl geklebte als auch stanzpaketierte Blechpakete anbietet und somit über die notwendigen Anlagen verfügt, findet auf Basis des Kundenwunsches eine Anpassung der vordefinierten Fertigungsprozessschritte statt.

4.4.4 Parametrisierbare Produkte

Bei der Strategie der parametrisierbaren Produkte handelt es sich im Gegensatz zu den ersten drei erläuterten Strategien um eine Strategie mit vorgedachten Möglichkeiten zur Individualisierung. Das heißt, der Anbieter entwickelt ein Produkt, das bewusst Möglichkeiten zur Individualisierung bietet und legt gleichzeitig auch die Grenzen fest, innerhalb derer die Produktindividualisierung realisiert werden kann.

Grundlage für die Strategie ist das Prinzip der Maßsysteme (siehe Bild 27). Die Parametrisierung beschreibt dabei die Selektion inhaltlicher Ausprägungen der Eigenschaften von Produktkomponenten [30]. Ausgangspunkt ist hierbei eine vorgedachte und vollständig definierte Produktstruktur, auf welche der Kunde nur eine vereinfachte Sicht erhält und im Zuge der Produktindividualisierung keinen Einfluss nehmen kann. Der Kunde kann allerdings auf Einzelteilebene (siehe Bild 46) die Ausprägungen des Produktes durch das Bereitstellen entsprechender Schlüsselparameter beeinflussen. Diese Schlüsselparameter sind für eine vollständige Beschreibung des Produktes notwendig.

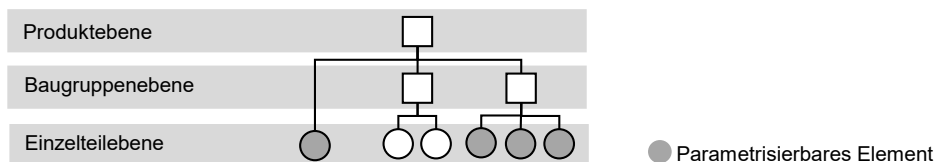


Bild 46: Parametrisierbare Produkte

Durch die Parametrisierung des Produkts beeinflusst der Kunde die entsprechenden Fertigungsinformationen. In der Produktentwicklung wird in Form einer kundenanonymen Vorleistung ein parametrisierbares Produktmodell entwickelt, das als Grundlage für die Produktindividualisierung dient. Im Zuge der Kundenintegration wird dann das Produktmodell an die Werte der Schlüsselparameter angepasst. Dabei handelt es sich in der Regel um einen vollständig automatisierten Prozess, der keine kreativen Tätigkeiten innerhalb der Konstruktion umfasst. Auf Basis dessen werden anschließend kundenspezifische Fertigungsinformationen für die Teilefertigung abgeleitet. Der Montageprozess wird durch die Parametrisierung nicht beeinflusst, da die Parametrisierung nur auf Teileebene stattfindet. So wird beispielsweise die Größe einer Baugruppe aber nicht deren Zusammenbau verändert.

Bei den durch den Kunden zu definierenden Schlüsselparametern handelt es sich meist um Werte, die Form, Größe oder Farbe der Produkte betreffen. Der Anbieter legt dazu einen Bereich fest, innerhalb dessen ein beliebiger Parameterwert definiert werden kann.

Tabelle 12: Beispiel für die Strategie der parametrisierbaren Produkte

Beispiel
Ein Jeanshersteller bietet maßgefertigte Hosen an. Die Anpassung der Hosen basiert auf einem parametrisierten Produktmodell, das in der Produktentwicklung erstellt wird. Aus diesem wird das Schnittmuster für den Zuschnitt der einzelnen Teile abgeleitet, das ebenfalls parametrisiert ist. Im Rahmen des Bestellprozesses werden definierte Maße des Kunden erfasst. Anhand dieser Maße erfolgt eine automatische Anpassung des Schnittmusters, aus welchem die Fertigungsinformationen generiert werden. Die Kundenwünsche beeinflussen so nicht das eigentliche Produktmodell, sondern vielmehr das Schnittmuster, das die Grundlage für die Fertigungsinformationen darstellt.

4.4.5 Baukastenprodukte

Die Strategie der Baukastenprodukte zielt auf die kundenindividuelle Zusammenstellung eines Produktes ab. Da Baukastenprodukte auf einem diskreten Design basieren, unterscheidet sich dabei die Art der vorhandenen Freiheitsgrade von der Strategie der parametrisierbaren Produkte. Der Kunde hat hier nicht die Möglichkeit, Einfluss auf die Ausprägung einzelner Produktbestandteile zu nehmen, sondern auf die Kombination der einzelnen Bestandteile eines Produktes.

Ausgangspunkt für Baukastenprodukte ist ein Modulbaukasten, der auf dem Prinzip des Aufbausystems (siehe Bild 27) beruht. Die Ausprägung der Freiheitsgrade, die dem Kunden für die individuelle Zusammenstellung seines Produktes im Detail zur Verfügung steht, hängt von der Stufe der Modularisierung ab (vergleiche Tabelle 5), die dem jeweiligen Modulbaukasten zugrunde liegt.

Die größten Einschränkungen liegen bei Plattformprodukten vor. Dabei wird durch den Anbieter entweder eine entsprechende Plattform vorgegeben oder der Kunde kann eine Plattform aus mehreren Optionen auswählen. Bezüglich der Auswahl weiterer Module stellt dann die Plattform den limitierenden Faktor dar, da in der Regel die Anzahl der Module durch die Anzahl der vorhandenen Schnittstellen der Produktplattform begrenzt ist. Während bei der generischen Modularisierung ebenso wie bei Plattformprodukten noch die grundsätzliche Struktur auf der höchsten Strukturstufe vordefiniert ist, gelten bei dem Prinzip der freien Modularisierung im Allgemeinen keinerlei Regeln hinsichtlich der strukturellen Zusammensetzung der Produkte (siehe Bild 47).

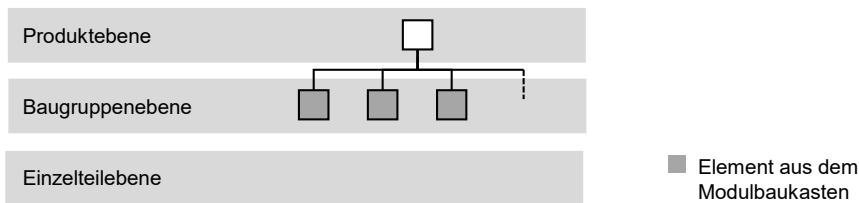


Bild 47: Baukastenprodukt ohne Plattform

Bei den Bestandteilen des Modulbaukastens handelt es sich um standardisierte Komponenten, die kundenunabhängig entwickelt werden. Grundsätzlich weist der Modulbaukasten, mit der Ausnahme der Plattformprodukte, keine obligatorischen, sondern lediglich optionale Module auf, die durch den Kunden hinsichtlich ihrer jeweiligen Anzahl frei gewählt werden können. Aufgabe der Produktentwicklung ist es dabei, die Kombinierbarkeit der einzelnen Module durch eine entsprechende Schnittstellengestaltung sicherzustellen. Vorhandene Einschränkungen hinsichtlich der Kombinierbarkeit sind in Form von Kombinationsregeln im Modulbaukasten zu hinterlegen. Zudem sollte berücksichtigt werden, dass vor allem die freie Modularisierung zu einer hohen und unüberschaubaren Vielfalt an unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten führt, die jedoch durch die Formulierung von entsprechenden Regeln eingeschränkt werden kann [31].

Aus der individuellen Produktzusammensetzung werden kundenspezifische Montageinformationen für den Montageprozess abgeleitet. Die Herstellung und die Vormontage der einzelnen Module werden dabei nicht beeinflusst.

Tabelle 13: Beispiel für die Strategie der Baukastenprodukte

Beispiel
Ein Möbelhersteller bietet modulare Schranksysteme an. Der Kunde kann hier sowohl aus verschiedenen Elementen für den Korpus und die Schranktüren als auch aus verschiedenen Elementen für die Inneneinrichtung des Schrankes auswählen und sich so einen individuellen Schrank zusammenstellen. Die Randbedingungen werden hierbei durch den zur Verfügung stehenden Bauraum auf Kundenseite definiert. Die Inneneinrichtung wird durch die einzelnen Korpus Elemente limitiert. Aus der individuellen Zusammenstellung leitet sich dann die jeweilige Montageanleitung ab.

4.4.6 Konfigurierbare Produkte

Ebenso wie die Strategie der Baukastenprodukte ermöglicht die Strategie der konfigurierbaren Produkte eine kundenindividuelle Zusammenstellung basierend auf einem diskreten Design. Allerdings basiert die Strategie der konfigurierbaren Produkte auf dem Prinzip der Selektion und nicht der Kombination. Der Kunde ist dabei in den vorhandenen Freiheitsgraden deutlich eingeschränkter. Ausgangspunkt für die Produktindividualisierung ist ein vorgedachtes Produktgerüst, das alle möglichen Varianten beschreibt und weitestgehend bis zur untersten Strukturebene vorgedacht ist (siehe Bild 48).

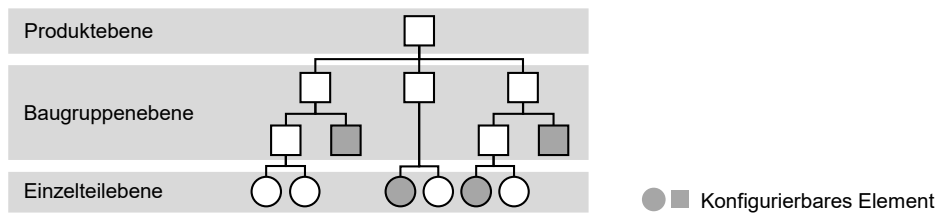


Bild 48: Konfigurierbare Produkte

Der Kunde entscheidet sich zu Beginn für ein bestimmtes Produktgerüst in Form eines Produkttyps, der seinen individuellen Anforderungen am meisten entspricht. Dieser Schritt kann beispielsweise in Form einer geführten Entscheidung erfolgen, die durch einen Entscheidungsbaum unterstützt wird. Anschließend wählt der Kunde im Zuge der Konfiguration einzelne, vordefinierte Bestandteile des Produktes. In diesem Kontext können verschiedene Arten von Optionen unterschieden werden, welche die Grundlage für Konfigurationsentscheidungen darstellen. Einen Überblick darüber gibt Tabelle 14.

Tabelle 14: Optionen in der Produktkonfiguration

Option	Auswahlmöglichkeit	Ausgangsmenge	Art der Auswahl
1	Maximal ein Wert	Ein Wert	Optional
2	Maximal ein Wert	Mehrere Werte	
3	Beliebig viele Werte		
4	Genau ein Wert		
5	Mindestens ein Wert		
			Obligatorisch

Dabei existieren zwei grundsätzliche Auswahlarten. Muss mindestens ein Wert ausgewählt werden, um die Funktionalität des Gesamtproduktes sicherzustellen, handelt es sich um eine obligatorische Komponente. Darüber hinaus existieren optionale Komponenten, die nicht zwangsläufig für die Funktionalität eines Produktes erforderlich sind. Vor allem durch obligatorische Optionen werden deutliche Einschränkungen in den vorhandenen Freiheitsgraden geschaffen. [32]

In der Produktentwicklung gilt es, neben dem grundsätzlichen Produktgerüst und der Festlegung der verschiedenen Optionen, entsprechende Randbedingungen und Ausschlusskriterien zu berücksichtigen und als Regeln zu hinterlegen. Zudem muss eine vereinfachte Sicht auf das Produktgerüst entwickelt werden, welche die Grundlage für die Konfiguration durch den Kunden darstellt. Aufbauend darauf wird durch die Konfigurationsentscheidungen eine kundenindividuelle Produktstruktur erstellt, die eine entsprechende Detaillierung des vorhandenen Produktgerüsts abbildet. Ebenso wie Baukastenprodukte beeinflussen auch konfigurierbare Produkte lediglich den Montageprozess. Aus der kundenindividuellen Konfiguration eines Produktes werden die notwendigen Montageinformationen abgeleitet. Die Herstellung und Vormontage werden nicht beeinflusst, da der Kunde hier nur über die detaillierte Zusammensetzung des Endproduktes entscheiden kann.

Tabelle 15: Beispiel für die Strategie der konfigurierbaren Produkte

Beispiel
In der Automobilindustrie ist es üblich, dass der Kunde sich sein Fahrzeug individuell konfigurieren kann. Es wird dazu ein Fahrzeugtyp ausgewählt und innerhalb eines vordefinierten Rahmens, kann der Kunde sich aus verschiedenen Optionen für bestimmte Ausstattungsmerkmalen entscheiden. Dabei handelt es sich häufig auch um vordefinierte Module. Durch Konfiguration wird der Montageprozess beeinflusst. Der Kunde legt mit seiner Auswahl fest, welche Komponenten an den einzelnen Montagestationen eingebaut werden.

4.4.7 Veredelbare Produkte

Eine weitere wichtige Strategie der Produktindividualisierung stellen die veredelbaren Produkte dar. Diese Strategie unterscheidet sich deutlich von den anderen aufgeführten Strategien der Produktindividualisierung, denn die Strategie der veredelbaren Produkte zielt nicht darauf ab, ein Produkt in Bezug auf dessen Aufbau und funktionale Eigenschaften zu individualisieren. Die Produktindividualisierung bezieht sich hierbei maßgeblich auf das Aussehen, das heißt die äußere Gestalt eines Produktes in der Endbearbeitung.

Grundlage für die Strategie der veredelbaren Produkte stellen Produkte dar, die kundenanonym entwickelt und vorproduziert werden. Allerdings muss dabei die Möglichkeit zur Veredelung in der Endbearbeitung bereits in der Produktentwicklung in Form von entsprechenden Freiräumen sowie deren Randbedingungen und Einschränkungen vorgedacht werden. Dies hat aber in der Regel keine Auswirkungen auf das Produkt an sich und dessen Funktionalität. Die Funktionalität eines Produktes ist in der Regel auch ohne den ergänzenden Schritt der Endbearbeitung gewährleistet. Auf Basis der Kundenwünsche in Bezug auf die Fertigstellung des Produktes werden entsprechende Endbearbeitungsinformationen abgeleitet.

Es lassen sich dabei zwei Arten der Veredelung unterscheiden (vergleiche Tabelle 16). Die Unterscheidung erfolgt auf Basis der Hauptgruppen der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 [33]. Wird im Zuge des Veredelungsprozesses ein zusätzliches Element angebracht, so wird dadurch Einfluss auf die Produktstruktur genommen und es handelt sich streng genommen um einen weiteren Montageschritt, der dem Verfahren Fügen zuzuordnen ist.

Tabelle 16: Einteilung der Veredelung von Produkten nach DIN 8580 [33]

Fertigungsverfahren nach DIN 8580	Art der Veredelung
Urformen	-
Umformen	-
Trennen	Oberflächenbearbeitung
Fügen	Montagevorgang
Beschichten	Oberflächenbearbeitung
Stoffeigenschaften ändern	Oberflächenbearbeitung

Darüber hinaus existieren Veredelungsprozesse, die nur auf die individuelle Oberflächenbearbeitung von Produkten abzielen. Dabei wird kein Einfluss auf die Produktstruktur, sondern nur auf die äußere Gestalt eines Produktes genommen. Dazu zählen die Verfahren Trennen, Beschichten und Stoffeigenschaften ändern. Wird ein Produkt zum Beispiel nachträglich abgeschliffen, ist dies dem Verfahren Trennen zuzuordnen. Dabei werden jedoch keine einzelnen Elemente entfernt und die Produktstruktur bleibt somit erhalten. Beschichten kann beispielsweise durch Lackieren erfolgen, wohingegen mittels eines Härteprozesses nachträglich die Stoffeigenschaften eines Produktes auf Wunsch des Kunden verändert werden.

Tabelle 17: Beispiel für die Strategie der veredelbaren Produkte

Beispiel
Ein Hersteller von Kosmetikartikeln bietet individualisierte Shampooflaschen an. Dabei kann der Kunde zwischen verschiedenen Shampoosorten wählen und anschließend das entsprechende Etikett selbst gestalten. Dazu wird dem Kunden ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, mittels welchem er entweder selbst ein Bild einbringen oder ein vorhandenes Design auswählen kann, das er anschließend durch einen individuellen Schriftzug ergänzt. Der eigentliche Prozess der Shampooherstellung und -abfüllung wird dabei nicht beeinflusst. Lediglich der Etikettendruck findet auf Basis der spezifischen Kundeninformationen statt, die dann anschließend im letzten Schritt auf die Flaschen aufgebracht werden.

4.5 Betrachtung des Produktindividualisierung-Produktionsstrategie-Modells

Fortführend wird eine Betrachtung des entwickelten Produktindividualisierung-Produktionsstrategie-Modells (PIPS-Modell) vorgenommen. Dieses basiert zum einen auf einer Zusammenführung der zuvor im Detail

beschriebenen Dimensionen und zum anderen auf einer abschließenden Abstraktion des Modells.

4.5.1 Darstellung der Kundeninteraktionspunkte

Aus der Detaillierung des Wertschöpfungsprozesses und der Formulierung der verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung lässt sich, wie bereits konzeptionell beschrieben (vergleiche Kapitel 3.4.1) ein Portfolio erstellen, das die verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung den Konkretisierungsebenen entlang des Wertschöpfungsprozesses gegenüberstellt. Mithilfe beider Achsen können Kundeninteraktionspunkte definiert werden, die aufzeigen, auf welche Konkretisierungsebene im Wertschöpfungsprozess der Kunde innerhalb der einzelnen Strategien mit seinem Individualisierungswunsch wirkt. Bild 49 gibt einen Überblick über das PIPS-Modell mit den einzelnen Kundeninteraktionspunkten.

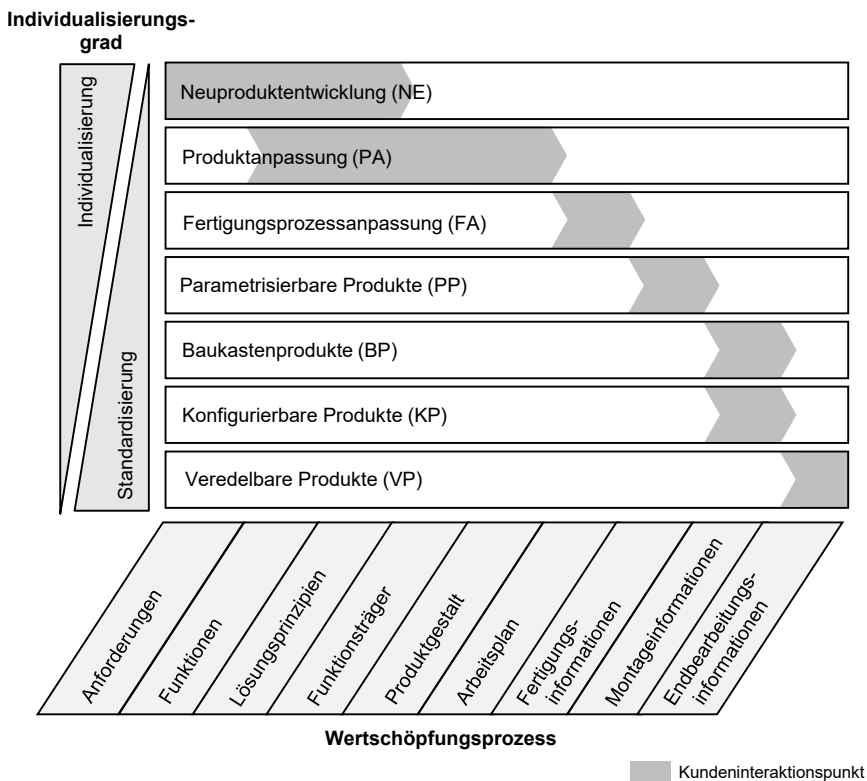


Bild 49: Darstellung des entwickelten Produktindividualisierung-Produktionsstrategie-Modells (PIPS-Modell)

Jeder Strategie können ein oder mehrere Kundeninteraktionspunkte zugewiesen werden. Diese repräsentieren den Bestandteil der Kundenintegration innerhalb der einzelnen Individualisierungsstrategien. Der Kundeninteraktionspunkt stellt die Verknüpfung zwischen Kundenwunsch und Wertschöpfungsprozess dar. Wichtig ist dabei hervorzuheben, dass dadurch nicht der Zeitpunkt der Kommunikation mit dem Kunden definiert wird. Das Modell gibt vielmehr Aufschluss darüber, auf welcher Konkretisierungsebene eines Produktes die Individualisierung innerhalb der einzelnen Strategien aufsetzt. Darauf aufbauend kann zur Sicherstellung der Prozessevidenz (siehe 3.4.2) abgeleitet werden, welche Informationen zu welchem Zeitpunkt im Wertschöpfungsprozess vorliegen müssen, um eine erfolgreiche Produktindividualisierung zu gewährleisten.

4.5.2 Abstraktion des Modells

Das PIPS-Modell gibt nicht nur einen detaillierten Überblick über die existierenden Strategien der Produktindividualisierung und deren Umsetzung. Darüber hinaus lassen sich durch eine Abstraktion des Modells auch allgemeine strategische Aussagen zur Produktindividualisierung und den Produktionsstrategien der Produktindividualisierung ableiten (siehe Bild 50).

Die Abstraktion basiert zunächst auf einer Kategorisierung innerhalb der beiden Achsen. Der Wertschöpfungsprozess lässt sich, wie in RAMI 4.0 beschrieben, in die Ebenen Typ und Instanz untergliedern, wobei hier noch einmal erwähnt werden muss, dass es sich dabei nicht um die Instanz als physisches Objekt, sondern das entsprechende Instanzmodell handelt (vergleiche Kapitel 4.2.1). So wird eine Trennung von Gestaltung und Umsetzung in Bezug auf das Produkt vorgenommen.

Ebenso lassen sich die einzelnen Individualisierungsstrategien auf Basis der zugrundeliegenden Art der Entwicklung (siehe Kapitel 3.2.2) in zwei verschiedene Kategorien einordnen. Zum einen existieren Strategien, die sich durch vorgedachte Möglichkeiten der Produktindividualisierung auszeichnen. Der Kunde kann dementsprechend das Produkt nur im Rahmen von Optionen, die vorab durch den Anbieter festgelegt werden, beeinflussen. Dazu zählen die Strategien der parametrisierbaren Produkte (PP), der Baukastenprodukte (BP) sowie der konfigurierbaren Produkte (KP) und auch die Strategie der veredelbaren Produkte (VP).

4 Entwicklung eines Modells zur Strukturierung und Charakterisierung von Produktindividualisierung

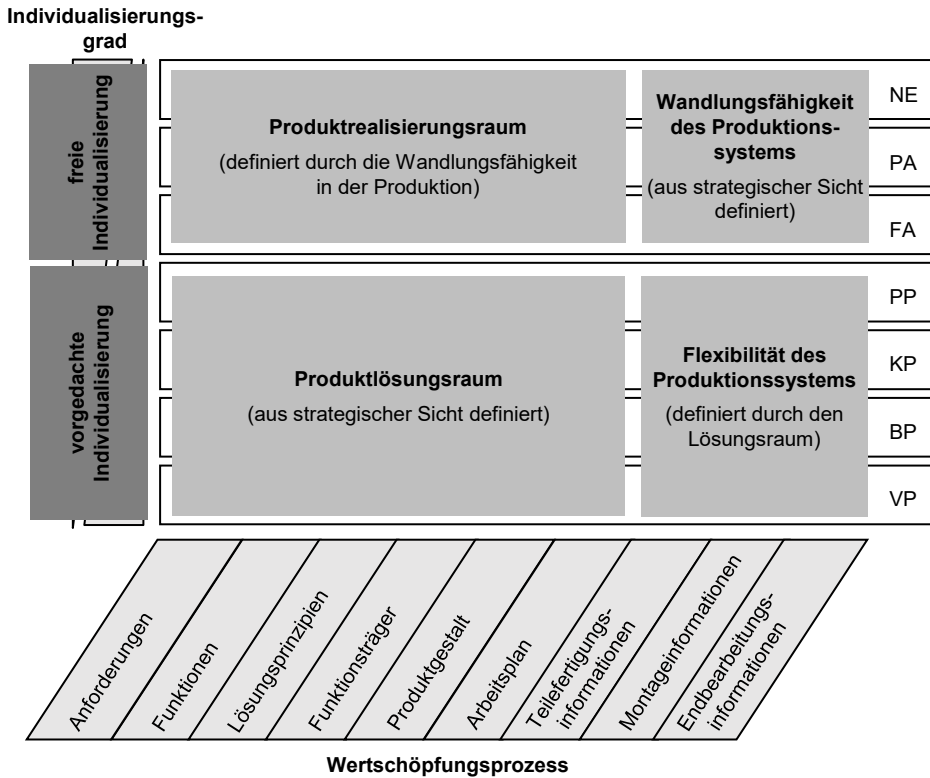


Bild 50: Abstraktion des Produktindividualisierungsstrategie-Modells

Zum anderen gibt es Strategien, die sich durch eine freie Individualisierung auszeichnen. Die Produktindividualisierung wird dabei durch den Kunden initiiert. Seitens der Produktentwicklung werden dabei weder Möglichkeiten noch Grenzen der Produktindividualisierung vordefiniert. Der Anbieter setzt sich erst im Zuge der Kundenintegration mit dem Individualisierungswunsch auseinander und prüft diesen auf technologische Machbarkeit und entsprechende Realisierbarkeit in der Produktion. Dieses Vorgehen liegt den Strategien der Neuproduktentwicklung (NE), der Produktpanpassung (PA) und der Fertigungsprozessanpassung (FA) zugrunde.

Strategien mit vorgedachten Möglichkeiten der Individualisierung basieren auf einem definierten Produktlösungsraum. Dieser Lösungsraum umfasst das angebotene Produktportfolio inklusive aller möglichen und durch den Anbieter zugelassenen Individualisierungsmöglichkeiten. Der Kunde greift im Zuge des Individualisierungsprozesses auf diesen Lösungsraum zu und generiert aus den Elementen des Produktlösungsraumes entsprechend des zugrundeliegenden Regelwerks ein individualisiertes Produkt.

Die Gestaltung des notwendigen Produktionssystems leitet sich aus dem zuvor definierten Produktlösungsraum ab. Die Anforderungen an das Produktionssystem sind so klar definiert. Alle Individualisierungsmöglichkeiten, die dem Kunden in Form des Produktlösungsraums zur Verfügung gestellt werden, müssen auf Instanzebene umsetzbar sein. Dies entspricht dem Grundprinzip der Flexibilität (vergleiche Kapitel 3.3.3). Es muss die Möglichkeit zur Anpassung an verschiedene Produktionsaufgaben innerhalb vordefinierter Flexibilitätskorridore geschaffen werden. Der Lösungsraum wird folglich auf Instanzebene durch entsprechende Flexibilitätskorridore der Produktion aufgespannt.

Ein konträres Vorgehen liegt den Strategien der freien Individualisierung zugrunde. Auch hier existieren Grenzen innerhalb der Produktindividualisierung. Diese werden durch das vorhandene Produktionssystem und dessen Fähigkeiten definiert. Die Anforderungen an die Gestaltung des Produktionssystems unterscheiden sich hierbei grundsätzlich von Strategien vorgedachter Möglichkeiten der Individualisierung. Hierbei gilt es vor allem auch mit nicht vorhersehbaren Produktionsaufgaben umzugehen. Dementsprechend ist der Ansatz der Flexibilität nicht ausreichend. Vielmehr ist hierbei das Vordenken einer Wandlungsfähigkeit (vergleiche Kapitel 3.3.3) innerhalb der Produktion erforderlich, um eine Reaktion auf die wechselnden Produktionsaufgaben, die aus den Individualisierungswünschen der Kunden resultieren, zu ermöglichen.

Das strategische Vordenken der Möglichkeiten und Grenzen der Individualisierung erfolgt im Zuge der Gestaltung des Produktionssystems. Im Rahmen von Strategien der freien Individualisierung liegt so ein Produktrealisierungsraum vor, der durch die Wandlungsfähigkeit des Produktionssystems definiert wird. Demnach muss die Umsetzung der Individualisierungswünsche in der Produktentwicklung so erfolgen, dass eine Realisierung des Produktes mit dem vorhandenen Produktionssystem innerhalb der Grenzen der Wandlungsfähigkeit erfolgen kann.

Insgesamt lassen sich so zwei grundsätzliche strategische Vorgehensweisen der Produktindividualisierung unterscheiden. Zum einen das strategische Vordenken von Individualisierungsmöglichkeiten und das Abbilden dieser in einem entsprechenden Produktlösungsraum. Zum anderen kann eine Begrenzung der Individualisierungsmöglichkeiten durch entsprechendes strategisches Festlegen eines Realisierungsraums in der Produktion erfolgen.

Wichtige Erkenntnisse, die zudem aus der Abstraktion hervorgehen, sind die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Strategien an die Produktion. So bedingt die Produktion individualisierter Produkte nicht zwangsläufig ein wandlungsfähiges Produktionssystem. Denn das Vorhalten von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit ist mit hohen Kosten verbunden. Dementsprechend ist es im Sinne der Wirtschaftlichkeit wichtig, sich auf ein notwendiges Maß an Flexibilität zu beschränken, beziehungsweise Grenzen der Wandlungsfähigkeit festzulegen.

4.6 Zusammenfassung und Limitationen

Das vorliegende Kapitel umfasst die Entwicklung des PIPS-Modells. Das PIPS-Modell bildet sowohl eine Übersicht über die verschiedenen Strategien der Individualisierung als auch die Darstellung des Wertschöpfungsprozesses anhand der verschiedenen Informationsarten, die ein Produkt von der Produktentwicklung bis hin zur Produktion durchläuft, ab. Durch die Zuordnung der entsprechenden Kundeninteraktionspunkt entlang des Wertschöpfungsprozesses zu den einzelnen Individualisierungsstrategien werden die beiden Achsen in Beziehung zueinander gesetzt. Die Gestaltung der Wertschöpfungsdimension orientiert sich dabei an der Lebenszyklusachse aus dem Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0. So wird eine methodische Verankerung der Modellerstellung in übergreifenden Forschungsarbeiten sichergestellt.

Im Sinne des Design Science-Ansatzes werden bei der Modellerstellung vor allem die Herausforderungen der produzierenden Industrie sowie auch die Erkenntnisse bisheriger wissenschaftlicher Arbeiten zum Thema Produktindividualisierung berücksichtigt. Aufbauend auf vorhandene Problemstellungen wird ein Lösungsansatz entwickelt, welcher den Anspruch hat, eine deutlich stärkere Praxisnähe und Anwendbarkeit zu bieten als existierende Modelle und Konzepte. Ziel es ein Modell zu entwickeln, das es ermöglicht vorhandene Strategien der Produktindividualisierung einzuordnen und diese zu analysieren sowie als Unterstützung bei der Auswahl einer geeigneten Produktindividualisierungsstrategie für die Entwicklung eines neuen Produktportfolios dient. Dazu ist es auch notwendig, das entsprechende Handlungsempfehlungen in Bezug auf den Entwicklungs- und Produktionsprozess für die einzelnen Strategien der Produktindividualisierung abgeleitet werden können. Die Erfüllung dieses Anspruches wird im nachfolgenden Kapitel im Zuge der Validierung belegt.

Die Betrachtung des Gesamtmodells hebt zudem hervor, dass das Modell nicht nur in der Lage ist, einzelne Strategien der Produktindividualisierung hinsichtlich Entwicklung, Produktion und Kundenintegration zu charakterisieren, sondern auch die generellen Konzepte der Individualisierung zu veranschaulichen. Eine Abstraktion zeigt losgelöst von den einzelnen Strategien der Individualisierung, grundsätzliche Mechanismen der Produktindividualisierung auf und formuliert allgemeine Anforderungen an die Produktion individualisierter Produkte.

Dabei unterliegt das Modell zwei Limitationen. Zum einen bezieht sich das Modell allein auf die Beeinflussung von Produkten durch Kundenwünsche während des Wertschöpfungsprozesses. Ansätze der Soft Customization werden hier im Gegensatz zu anderen Modellen, die in Kapitel 3 betrachtet werden, nicht aufgegriffen. Zum anderen bildet das Modell den Wertschöpfungsprozess für mechanische Produkte beziehungsweise mechanische Produktbestandteile ab. Für die Analyse von Produktindividualisierung in der Informatik und Elektronik gilt es eine entsprechende Anpassung des abgebildeten Prozesses vorzunehmen.

5 Validierung des Produktindividualisierungs-Produktionsstrategie-Modells

Einen weiteren wichtigen Schritt im Rahmen der Modellerstellung stellt gemäß des Design Science-Ansatzes die Validierung dar. Diese ist Bestandteil des Design Zyklus (vergleiche Bild 35). Die Validierung zielt auf die Überprüfung der Eignung des entwickelten Modells in Bezug auf die eingangs formulierte Aufgabenstellung und die angemessene Bild des zu untersuchenden Betrachtungsgegenstandes der produzierenden Industrie ab.

Für die Validierung im Kontext des Design Science-Ansatzes schlagen HEVNER et al. [34] eine Reihe verschiedener Methoden, wie die analytische Untersuchung, Experimente, Feldversuche oder auch einen fallstudienbasierten Ansatz, vor. Grundsätzlich stellt daher die Anwendung der Fallstudienforschung im Rahmen des Design Science-Ansatzes eine gängige wissenschaftliche Vorgehensweise dar. COSTA et al. [35] beschreiben den Einsatz der Fallstudienforschung im Rahmen des Design Science-Ansatzes in wissenschaftlichen Arbeiten sowohl zur Modellerstellung als auch zur Validierung. Zudem nutzen beispielsweise POPPE [36] und ZIMMERMANN [37] in ihren Arbeiten die Fallstudienforschung zu Evaluierung und Konkretisierung eines Modells im Rahmen des Design Science-Ansatzes.

Auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Fallstudienforschung zur Validierung des entwickelten Modells herangezogen. Dazu wird im Folgenden zunächst die zugrundeliegende methodische Vorgehensweise vorgestellt, bevor auf die Durchführung der Validierung sowie entsprechende Schlussfolgerungen und die Bewertung eingegangen wird.

5.1 Methodische Vorgehensweise

Bei der Fallstudienforschung (engl. Case Study Research) handelt es sich um einen qualitativen Forschungsansatz, der ursprünglich der Sozialforschung entstammt und mittlerweile in vielen Forschungsdisziplinen Anwendung findet. Die Fallstudienforschung bietet sich auch im Rahmen dieser Arbeit als methodische Grundlage für die Validierung des entwickelten Modells an.

EISENHARDT und GRAEBENER [38] beschreiben die Fallstudienforschung als wissenschaftliche Methode, die eine oder mehrere Fallstudien betrachtet, um theoretische Konstrukte und Thesen mit empirischen Nachweisen

verknüpfen. Die Fallstudien können dabei sowohl zur Entwicklung oder Weiterentwicklung von Theorien, Hypothesen und Modellen, als auch zur Validierung dieser genutzt werden [39, 40]. Dabei werden zwei grundlegende Arten der Fallstudienforschung unterschieden: die Einzelfallstudie (single-case design) und die vergleichende Fallstudie (multiple-case design). [41]

Während sich die Einzelfallstudie auf die Untersuchung eines speziellen Phänomens beschränkt, umfasst die vergleichende Fallstudie die Betrachtung mehrerer Fälle. Durch den Vergleich können Erkenntnisse aus Ähnlichkeiten und Unterschieden zwischen den einzelnen Fällen gewonnen und kritisch beleuchtet werden. Dadurch besitzen die Ergebnisse eine höhere Allgemeingültigkeit als bei einer Einzelfallstudie. [41, 40, 42, 38] Da die Fallstudienforschung im Rahmen dieser Arbeit für die Validierung des entwickelten Modells angewendet wird, das zum einen mehrere Strategien abbildet und sich zum anderen auf einen sehr großen und heterogenen Betrachtungsraum bezieht, wird hier die vergleichende Fallstudie herangezogen.

Eine allgemeingültige, detaillierte Vorgehensbeschreibung für die Fallstudienforschung existiert nicht. YIN [41] schafft jedoch durch die Unterscheidung der drei Phasen „Definition und Design“, „Vorbereitung, Sammlung und Analyse“ sowie „Analyse und Schlussfolgerung“ zumindest einen Orientierungsrahmen (siehe Bild 51).

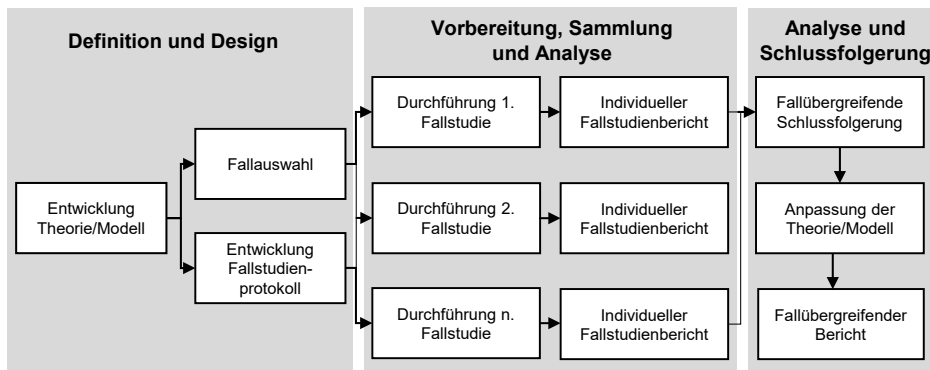


Bild 51: Schritte der Fallstudienforschung nach YIN [41]

Die Phase „Definition und Design“ umfasst die Klärung der Problemstellung und Ziele, welche mittels der Fallstudienforschung erreicht werden sollen sowie eine Auswahl der zu betrachtenden Fallstudien. Darüber hinaus findet parallel die Entwicklung eines Fallstudienprotokolls für die anschließende Durchführung der Fallstudien statt. In der Phase „Vorbereitung, Sammlung und Analyse“ findet die eigentliche Datenerhebung und -auswertung statt. Nachdem alle Fallstudien durchgeführt und in einem Fallstudienbericht dokumentiert und individuell analysiert wurden, können diese fallübergreifend betrachtet und wiederum im Gesamten analysiert werden. Daraufhin können Theorie oder Modell angepasst und ein abschließender fallübergreifender Bericht erstellt werden. Dies geschieht in der dritten Phase „Analyse und Schlussfolgerung“. An diesen Schritten orientiert sich auch die nachfolgende Vorgehensweise der Validierung. [39]

Wichtig für die Qualität der Fallstudienforschung und des entwickelten Modells ist die Auswahl der Fälle. Dabei ist zunächst zu entscheiden, welche Anzahl an Fällen für die Betrachtung sinnvoll ist. Nach EISENHARDT [43] ist eine Fallanzahl zwischen vier und zehn Fällen sinnvoll, da bei weniger als vier Fällen die Erstellung einer komplexen Theorie oder eines komplexen Modells mit einer zuverlässigen Begründung schwierig ist. Bei mehr als zehn Fällen scheinen die Komplexität und die Anzahl der zu bearbeitenden Daten zu groß und unübersichtlich. Dabei können verschiedene Quellen herangezogen werden (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18. Beispiele für Datenquellen in der Fallstudienforschung in Anlehnung an [39]

Datenquelle	Vorteile	Nachteile
Dokumente (Briefe, Memoranden, Zeitungsartikel, etc.)	Nicht-flüchtig, exakt, umfassend	Beschränkter Zugang; ggf. bewusst verzerrte Auswahl oder Inhalte
Archivdaten (Dateien, Organigramme, Budgets, etc.)	Nicht-flüchtig, exakt, umfassend, ggf. quantitativ auswertbar	Beschränkter Zugang; ggf. bewusst verzerrte Auswahl oder Inhalte
Interviews	Zielgerichtet, eröffnen neue Dimensionen der Einsicht	Mögliche Verzerrung, ggf. antwortet Interviewpartner, was der Fragende hören will
Beobachtungen	Realitätsnah; eröffnet Blick auf Kontext	Hoher Zeitaufwand

Idealerweise vereint die Fallstudienforschung mehrere Formen der Datenerhebung aus verschiedenen Quellen und zieht fallbezogen unterschiedliche Methoden der Datenanalyse heran. Dazu zählen Dokumente wie Zeitungsartikel, Archivdaten, Interviews und auch Beobachtungen, welche jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich bringen. Diese sind in Tabelle 18 aufgeführt. [44]

5.2 Empirische Erhebung

Für die Durchführung der Fallstudienforschung werden zum einen Experteninterviews durchgeführt und zum anderen bestehende Beispiele der Produktindividualisierung im Zuge einer Literaturrecherche analysiert und in das Modell eingeordnet. Vor allem für den B2C-Markt zahlreiche publizierte Beispiele der Produktindividualisierung existieren, die als Datenquelle für die Fallstudienforschung herangezogen werden können. Für den B2B-Markt fehlen derartige publizierte Beispiele weitestgehend, weshalb an dieser Stelle Experteninterviews durchgeführt werden. Die Auswahl der Beispiele und Interviewpartner beabsichtigt, eine möglichst große Vielfalt über die produzierende Industrie hinweg abzubilden. Ziel ist es insgesamt, sowohl für B2C- als auch den B2B-Markt bis zu zehn Fälle in die Betrachtung aufzunehmen, was somit insgesamt über die von EISENHARDT [43] genannte Empfehlung hinausgeht, aber aufgrund der vorliegenden Heterogenität der produzierenden Industrie sinnvoll erscheint.

Ziel ist es, anhand der Fallstudienforschung im Anschluss eine umfassende Bewertung des entwickelten Modells anhand der bereits in Kapitel 3 aufgeführten Kriterien Vollständigkeit, Relevanz, Richtigkeit sowie Implementierbarkeit durchzuführen. Aufgrund dessen wird bei der Auswahl der Fallstudien darauf geachtet, dass diese in der Lage sind die eingangs betrachtete vorherrschende Heterogenität des Bezugsrahmens der produzierenden Industrie abzudecken, um so eine sinnvolle Bewertung zu ermöglichen.

5.2.1 Experteninterviews

Es wurden insgesamt acht Experten befragt. Bei diesen handelt es sich zum einen um persönliche und im Rahmen der Forschungsarbeit gewonnene Kontakte aus dem Netzwerk der Autorin und zum anderen um Experten, die auf Basis einer gezielten Unternehmensauswahl rekrutiert wurden. Bei der Auswahl der Experten wurde darauf geachtet, dass es sich entweder um

Führungskräfte oder Mitarbeiter aus dem Bereich des Produktmanagements oder Vertriebs handelt, die über einen entsprechenden Überblick über das Produktportfolio sowie die notwendige Expertise im Bereich der Produktindividualisierung verfügen. Darüber hinaus wurden nur Experten kontaktiert, die über eine mindestens dreijährige Berufserfahrung im entsprechenden Fachgebiet verfügen. Die Personen werden als Repräsentanten ihres Unternehmens befragt.

Die entsprechenden Experteninterviews wurden im Zeitraum vom 23.02.2017 bis zum 21.04.2017 alternativ in Form eines Telefongesprächs oder eines gemeinsamen Termins als geführte Befragung anhand eines Fragebogens durchgeführt.

Die Befragung zielt nicht allein auf die Einordnung des jeweiligen Unternehmens in das Modell ab, sondern soll auch zum Verständnis der Rahmenbedingungen und der Gesamtsituation in der Praxis beitragen. Einführend wird daher zunächst auf die Begriffe Individualisierung, Anpassung und Personalisierung eingegangen, um ein gemeinsames Begriffsverständnis für den weiteren Verlauf des Interviews zu schaffen. Aufbauend darauf werden die Bedeutung von Produktindividualisierung und die zugehörigen Auftragsformen skizziert. Über die Ermittlung der Form der Kundenintegration und der Umsetzung von Produktindividualisierung in den einzelnen Unternehmensbereichen wird es dann möglich, das Unternehmen entsprechend in das Modell einzuordnen. So kann mittels Experteninterview ein gesamtheitliches Bild über das Unternehmen sowie die zugrundeliegende Interpretation von Produktindividualisierung und deren Umsetzung geschaffen werden.

Die Ergebnisse der Experteninterviews werden im Nachfolgenden auf Wunsch der Unternehmen anonymisiert dargestellt. Dabei wird zunächst ein tabellarischer Überblick gegeben und eine Einordnung der verfolgten Individualisierungsstrategien in das zuvor entwickelte PIPS-Modell vorgenommen (siehe Tabelle 19). Anschließend wird das entsprechende Vorgehen im Rahmen der Produktindividualisierung für die einzelnen Fallbeispiele im Detail vorgestellt. Weiterführende Informationen zu den einzelnen Fallbeispielen sind darüber hinaus im Anhang aufgeführt.

Tabelle 19: Fallbeispiele zur Produktindividualisierung im B2B-Markt

	Produkt- beschreibung	Individualisierungs- strategie	Kunden- interaktionspunkt
Interview 1	Elektrische Fahrzeugantriebe	Produktanpassung	Funktionen
Interview 2	Kugellager	Produktanpassung	Produktgestalt
		Veredelbare Produkte	Endbearbeitungs- informationen
Interview 3	Industrieroboter	Konfigurierbare Produkte	Fertigungs- informationen
Interview 4	Lüftungssysteme	Produktanpassung	Physische Funktions- träger, Produktgestalt
Interview 5	Schraubsysteme	Produktanpassung	Physische Funktions- träger, Produktgestalt
Interview 6	Schaltschränke	Produktanpassung	Produktgestalt
		Baukastenprodukte	Montage- informationen
Interview 7	Linearführungen	Neuprodukt- entwicklung	Anforderungen
		Produktanpassung	Funktionen, physische Funktions- träger, Produktgestalt
Interview 8	Großantriebe	Produktanpassung	Physische Funktions- träger, Produktgestalt
		Konfigurierbare Produkte	Montage- informationen

Interview 1

Das Portfolio des Unternehmens umfasst keine Standardprodukte. Alle elektrischen Fahrzeugantriebe werden kundenspezifisch aus einem modularen System zusammengestellt, das eine Variation im Bereich des Durchmessers und der Länge des Motors auf Basis von Normblechschnitten und festen Nutzahlen sowie eine Anpassung in Bezug auf die Anzahl der Leiter pro Nut und die Leistung des Motors ermöglicht. Damit zeichnet sich der Hersteller durch eine deutlich höhere Flexibilität als andere Anbieter elektrischer Antriebe aus.

Allerdings handelt es sich dabei nicht um eine Konfiguration, die durch den Kunden vorgenommen wird. Auf Basis der Kundenspezifikation wird eine entsprechende Variantenkonstruktion auf Basis des modularen Systems durchgeführt. Dies ist der Strategie der Produktanpassung zuzuordnen, die auf der Ebene der Funktionsausprägungen stattfindet. Bei Bedarf werden darüber hinaus auch Neuproduktentwicklungen durchgeführt, wenn Kundenanfragen nicht auf Basis des modularen Systems bedient werden können.

Interview 2

Das Produktsortiment des Anbieters zeichnet sich durch Standardprodukte aus, die in verschiedenen Variantenausprägungen angeboten werden. Dabei handelt es sich um geschlossene Varianten ohne Konfigurationsmöglichkeiten. Darüber hinaus gibt es zahlreiche Kundenanfragen bezüglich der Individualisierung einzelner Produkte, die maßgeblich deren Produktgestalt betreffen. Dies kann sich zum einen auf die Produktabmessungen wie den Lagerdurchmesser oder zum anderen auf geometrische Features wie zusätzliche Bohrungen beziehen. Bei individuellen Anfragen, die über die angebotenen Standardprodukte hinausgehen, ist zunächst eine Prüfung der technischen Machbarkeit erforderlich, bevor eine entsprechende Anpassung stattfindet.

Des Weiteren bietet der Anbieter seit einigen Jahren die Möglichkeit der individuellen Produktbeschriftung von Standardprodukten an und verfolgt damit gleichzeitig die Strategie der veredelbaren Produkte. Allerdings findet dabei aus technischen Gründen die Laserbeschriftung meist nicht am Ende des Produktionsprozesses, sondern bereits vor der Montage statt. Dies wird dennoch der individuellen Endbearbeitung zugeordnet. Häufig werden auch individuell angepasste Produkte zusätzlich mit einer kundenspezifischen Laserbeschriftung versehen und so beide Strategien miteinander kombiniert.

Interview 3

Der Roboterhersteller bietet einen offenen, ständig wachsenden Modulbaukasten an, aus welchem sich der Kunde individuell einen Industrieroboter konfigurieren kann. Dieser Modulbaukasten setzt sich aus verschiedenen Roboterarmen, Steuerungen und Softwareoptionen zusammen. Zusätzlich kann der Kunde den Roboter um ergänzende Komponenten wie Medienzuführungen und Greifer erweitern.

Die Roboter können darüber hinaus in der Farbgebung individualisiert werden. Dies bezieht sich zwar auf die Endbearbeitung, wird aber der Strategie der konfigurierbaren Produkte untergeordnet.

Darüber hinaus treten auch Kundenwünsche auf, die mit dem bestehenden Produktportfolio abgedeckt werden können. Anfragen mit mechanischen Änderungswünschen werden abgewiesen. Im Bereich der Software hingegen ist eine Individualisierung sehr viel einfacher möglich, weshalb hier in der Regel auch auf spezielle Kundenwünsche eingegangen wird. Allerdings liegt die Softwareindividualisierung nicht im Betrachtungsrahmen dieser Arbeit und findet daher keine weitere Berücksichtigung.

Interview 4

Die angebotenen Lüftungssysteme setzen sich aus einem Motorblock, der Strömungstechnik und Elektronik zusammen. Dabei handelt es sich grundsätzlich um ein Baukastensystem. Alle möglichen Kombinationen sind jedoch vollständige Vorkonfigurationen, die als Standardprodukte im Produktkatalog abgebildet werden. Aus diesen kann der Kunde ein Produkt auswählen. Eine weitere Konfiguration durch den Kunden ist nicht möglich, da die zu berücksichtigenden Abhängigkeiten zu groß sind. Auswahlkriterien seitens des Kunden sind Kühlungsbedarf und Gegendruck der Lüftungssysteme. Der Anbieter stellt eine Selektionssoftware bereit, in welche der Kunde diese Anforderungen eingeben kann und entsprechend eine Produktempfehlung erhält.

Allerdings lässt der Anbieter darüber hinaus in einem gewissen Rahmen Anpassungen der im Katalog abgebildeten Produkte zu. So handelt es sich bei den bestellten Produkten häufig nicht um Standardprodukte. Meist werden die angebotenen Standardprodukte auf Basis von Kundenwünschen leicht verändert, ohne dass dabei die Grundfunktion des Produktes beeinflusst wird. Es werden lediglich ergänzende Komponenten wie beispielsweise die Auswahl eines bestimmten Steckverbinders modifiziert oder zusätzliche Befestigungsmöglichkeiten gefordert. Dies sind wiederum Kundenwünsche, die in der Regel die Auswahl der Funktionsträger beeinflussen. In der Umsetzung der Individualisierungswünsche wird darauf geachtet, dass die Unterscheidung vom Standardprodukt erst am Ende des Produktionsprozesses in den letzten Montageschritten stattfindet, um eine möglichst geringe Abweichung vom Standardprozess zu erzielen. In Ausnahmefällen wird auch eine Anpassung der geometrischen Gestalt gefordert.

Interview 5

Grundsätzlich besteht die Absicht des Anbieters von Schraubsystemen darin, nach Möglichkeit Standardprodukte zu verkaufen. Dazu erfolgt eine Entwicklung von verschiedenen Baureihen und Produktgruppen (Mittel- und Oberklassensystem), die sich hinsichtlich ihrer Leistung und Genauigkeit unterscheiden. Innerhalb dieser Baureihen werden jährlich neue Elemente entwickelt, zum einen zur Ablösung bestehender Produkte aber auch zur Ergänzung des Portfolios auf Basis vorhandener Bedarfe seitens der Kunden. Dennoch treten häufig Kundenwünsche auf, die über das bestehende Produktportfolio hinausgehen.

Die Entwicklung ist unterteilt in Schraubtechnik und Steuerungstechnik. Je nach Art der kundenspezifischen Anpassungswünsche unterscheidet sich der Zuständigkeitsbereich in der Entwicklung. Wenn beispielsweise ein gewinkelter Stecker anstelle eines geraden Steckers gefordert wird, handelt es sich lediglich um eine Änderung in der Konstruktion der Schraubtechnik. Ist allerdings ein anderer Kalibrierbereich gewünscht, wird zusätzlich die Steuerungstechnik in die Anpassung mit einbezogen, da softwareseitige Änderungen notwendig sind. Die Herausforderung besteht dabei darin, in kurzer Zeit vorab zu prüfen, ob die gewünschte Produktindividualisierung ohne weiteres möglich ist, oder ob ergänzende Tests und Prüfungen erforderlich sind, um dem Kunden zeitnah einen möglichen Lieferzeitraum zu nennen.

Aufgrund der Vielfalt der Kundenwünsche ist eine eindeutige Zuordnung der Kundenanfragen zu einer einzelnen Konkretisierungsebene im Modell schwierig. Es handelt sich um Kundenwünsche, die sich sowohl auf die Funktionsausprägungen als auch auf die gewählten Funktionsträger sowie zum Teil auch nur auf die Produktgestalt beziehen.

Interview 6

Der Schaltschrankhersteller verfolgt die Strategie der Baukastenprodukte. Dies umfasst eine Modulplattform in Form der angebotenen Leerschränke, die dann um entsprechende Komponenten aus einem großen Angebot an Zubehör ergänzt werden. Dementsprechend findet so eine individuelle Zusammenstellung des Schaltschranks durch den Kunden statt. Die einzelnen Komponenten werden dabei kundenanonym entwickelt und vorproduziert. Der Kunde hat darüber hinaus die Wahl, das Produkt entweder vom Hersteller montieren zu lassen oder die Einzelteile zu kaufen und die Montage selbst zu übernehmen.

In einzelnen Fällen werden auf Kundenwunsch zusätzliche Löcher, Bohrungen oder Ausschnitte, beispielsweise für die Montage eines Lüfters in das Leergehäuse eingebracht. Dabei handelt es sich um geometrische Features, die Einfluss auf die Gestalt des Leerschrankes nehmen und dementsprechend der Strategie der Produktanpassung zuzuordnen sind.

Des Weiteren findet zum Teil eine Individualisierung im Bereich der Farbgebung einzelner Komponenten statt. Dies betrifft die Endbearbeitung der Produkte, auch wenn hier aus prozesstechnischen Aspekten die Lackierung zum Teil vor der Endmontage stattfindet. Allerdings wird auch dies der Strategie der Baukastenprodukte untergeordnet, da es sich theoretisch um einen nachgelagerten Schritt im Wertschöpfungsprozess handelt.

Interview 7

Der Hersteller bietet ein Portfolio an DIN-genormten Linearführungen an. Darüber hinaus gibt es Kundenanfragen, die mit dem bestehenden Produktportfolio nicht bedient werden können. Kunden sehen sich häufig in ihren Anwendungsfällen für Linearführungen mit speziellen Lastfällen konfrontiert, die mittels der angebotenen Katalogprodukt nicht abgedeckt werden können. Dafür wird in der Produktentwicklung der Lastfall gesondert betrachtet und die von der Linearführung aufzunehmende Kräfte, Materialkennwerte und Tragzahlen berechnet. Auf Basis dieser Werte wird eine Standardkomponente ausgewählt, die anschließend entsprechend ausgelegt und angepasst wird.

Zum Teil sind allerdings auch nur kleine Anpassungen wie zusätzliche Bohrungen oder auch die Auswahl einer speziellen Dichtung gewünscht, die keine Funktionsänderung des Produktes mit sich bringen. Neuproduktentwicklungen werden soweit wie möglich vermieden. Wenn ein Kundenwunsch nicht auf Basis von Standardkomponenten lösbar ist, geht dies mit der Entwicklung eines neuen Produktes einher.

Dementsprechend bietet der Hersteller neben dem Portfolio an Standardprodukten ein breites Spektrum an verschiedenen Möglichkeiten der Individualisierung an. Vor allem im Bereich der Produktanpassung kann der Kunde auf verschiedenen Ebenen von der Definition von Funktionsausprägungen über die Auswahl der Funktionsträger bis hin zur geometrischen Gestalt Einfluss auf das Produkt nehmen.

Interview 8

Der Anbieter definiert eine Produktplattform, die ein bestimmtes Produktportfolio an elektrischen Großantrieben für Industrie und Infrastruktur abbildet. Dabei werden verschiedene Optionen vorgedacht, die in einem Konfigurator dargestellt werden. Darauf aufbauend stellt sich der Kunde seinen individuellen Elektromotor zusammen. Die konfigurierten Motoren sind dabei in ihrer Funktionalität seitens elektronischer Auslegung definiert und weisen eine mechanische Flexibilität auf. Innerhalb dieser mechanischen Flexibilität werden kundenspezifische Anpassungen vorgenommen, die sich überwiegend auf die Produktgestalt des Gehäuses oder beispielsweise das Flansch-Design beziehen. Darüber hinaus werden häufig spezielle Anforderungen an die verbauten Lager gestellt, die sowohl bezüglich verbauter Komponenten als auch der entsprechenden Ausgestaltung der Welle und der Lagerschilde in der Produktentwicklung berücksichtigt werden müssen.

Zwar wird hier grundsätzlich die Strategie der konfigurierbaren Produkte verfolgt, allerdings reicht eine Konfiguration in einigen Fällen aufgrund der sehr heterogenen Kundenanforderungen nicht aus. Deshalb werden zusätzliche Anforderungen an die konfigurierten Produkte gestellt, die eine zusätzliche Produktanpassung in Bezug auf Funktionsträger oder Produktgestalt erfordern.

5.2.2 Untersuchung von bestehenden Publikationen

Über die Experteninterviews hinaus umfasst die Validierung, wie oben beschreiben, zudem eine Analyse bestehender Publikationen, die weitere Fallbeispiele aus dem B2C-Markt für die Validierung bereitstellen. Bei der Auswahl der Beispiele wurde darauf geachtet, dass zu jedem Beispiel sowohl entsprechende Informationen seitens des Anbieters als auch ein neutraler Bericht seitens einer Zeitung, Zeitschrift etc. herangezogen werden, um eine objektive Einordnung zu ermöglichen. Darüber hinaus werden nur Fallbeispiele ausgewählt, zu welchen ausreichende Informationen über Entwicklung, Produktion und Kundenintegration vorliegen, um eine korrekte Einordnung in das Modell sicherzustellen. Eine Übersicht über die betrachteten Beispiele und deren Einordnung in das entwickelte Modell gibt Tabelle 20:

Tabelle 20: Fallbeispiele zur Produktindividualisierung im B2C-Markt

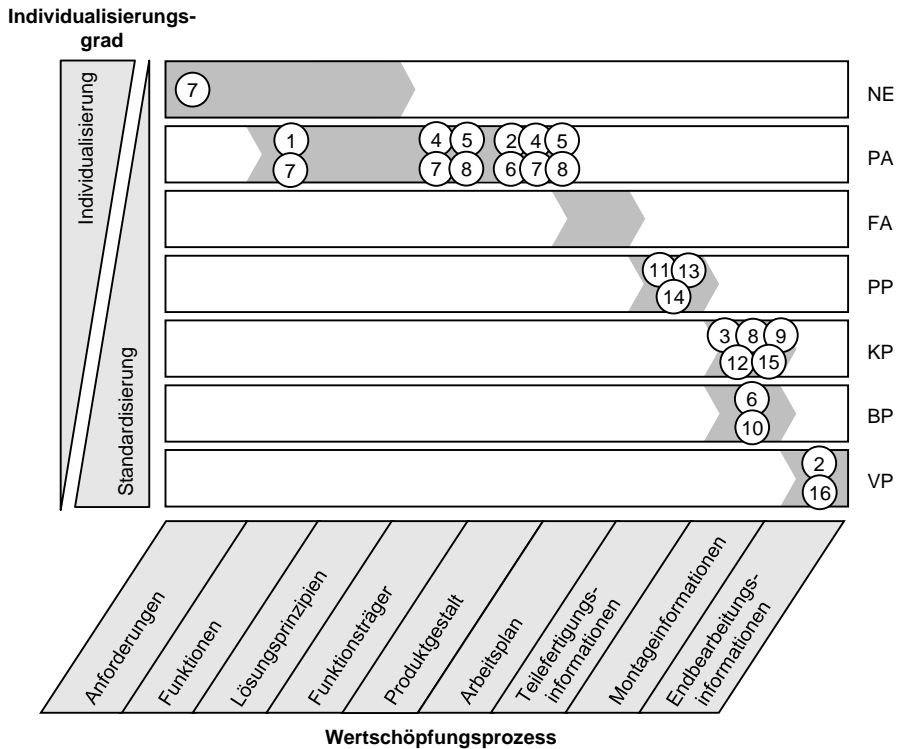
Unternehmen	Produktbeschreibung	Strategie der Individualisierung	Kundeninteraktionspunkt	Quellen
Chocri	Schokolade	konfigurierbare Produkte	Montageinformationen	[45, 46]
MyMuesli	Müslimischung	Baukastenprodukte	Montageinformationen	[47, 48]
Adidas	Sportschuhe	parametrisierbare Produkte	Fertigungsinformationen	[49, 50]
Kreativrad	Fahrräder	konfigurierbare Produkte	Montageinformationen	[51, 52]
Meine Möbelmanufaktur	Schränke und Regale	parametrisierbare Produkte	Fertigungsinformationen	[53, 54]
Hemdwerk	Herrenhemden	parametrisierbare Produkte	Fertigungsinformationen	[55, 56]
HP	Notebooks und Workstations	konfigurierbare Produkte	Montageinformationen	[57, 58]
Shirtinator	T-Shirts	veredelbare Produkte	Endbearbeitungsinformationen	[59, 60]

5.3 Erkenntnisse und Implikationen

Alle betrachteten Fallbeispiele der Fallstudienuntersuchung lassen sich eindeutig in das entwickelte Modell einordnen. Das Bild 52 zeigt eine grafische Zusammenfassung, die noch einmal eine Übersicht über alle in des PIPS-Modell eingeordneten Fallbeispiele gibt. Diese Zusammenfassung zeigt, dass das entwickelte Modell durchaus in der Lage ist den eingangs definierten Bezugsrahmen der industriellen Produktion hinsichtlich der existierenden Strategien Produktindividualisierung abzubilden.

Es wird deutlich, dass die Beispiele eine breite Abdeckung über die im Modell abgebildeten Strategien hinweg bieten. Allerdings zeigt sich auch, dass vor allem auf dem B2B-Markt Unternehmen nicht nur eine Strategie der Individualisierung verfolgen. Dies resultiert zum einen daraus, dass verschiedene Möglichkeiten innerhalb der Strategien der vorgedachten Individualisierung kombiniert werden. Häufig wird zusätzlich die Option der individuellen Endbearbeitung angeboten, die mit einer anderen Individualisierungsstrategie, die Einfluss auf einen der Endbearbeitung Vorgelagerten Wertschöpfungsschritt nimmt, verknüpft wird. Relevant für

die Einordnung in das Modell ist dabei immer diejenige der angewendeten Strategien, die am frühesten im Wertschöpfungsprozess liegt.



Fallbeispiele:

- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| ① Elektrische Fahrzeugantriebe | ⑨ Schokolade |
| ② Kugellager | ⑩ Müslimischung |
| ③ Industrieroboter | ⑪ Sportschuhe |
| ④ Lüftungssysteme | ⑫ Fahrräder |
| ⑤ Schraubsysteme | ⑬ Schränke und Regale |
| ⑥ Schaltschränke | ⑭ Herrenhemde |
| ⑦ Linearführungen | ⑮ Notebooks und Workstations |
| ⑧ Großantriebe | ⑯ T-Shirts |

Bild 52: Einordnung der betrachteten Fallbeispiele in das PIPS-Modell

Darüber hinaus bieten Unternehmen häufig ein Portfolio an Individualisierungsmöglichkeiten an, das sich auf mehr als nur eine Strategie der Individualisierung bezieht. Dies kann sowohl bewusst geplant sein als auch aus den Forderungen der Kunden resultieren. So gibt es Unternehmen, die sich auf Neuproduktentwicklungen und Produkthanpassungen fokussieren und je nach Kundenwunsch entscheiden, auf welche Strategie zurückgegriffen wird. Allerdings existieren darüber hinaus auch Unternehmen, die strategisch gezielt auf eine Strategie im Bereich der vorgedachten Individualisierung setzen, um die entsprechende vorherrschende Vielfalt zu begrenzen. Durch die Heterogenität der Kundenwünsche und der Vielzahl an Anwendungsfällen sehen sich diese dann jedoch gezwungen, über die vorgedachten Möglichkeiten hinaus Produkthanpassungen vorzunehmen, um die auftretenden Kundenwünsche zu befriedigen und die Ablehnung eines Auftrages zu vermeiden.

Zudem zeigt sich, dass sich die untersuchten Individualisierungsbeispiele aus dem B2C-Markt nur auf Strategien mit vorgedachten Individualisierungsmöglichkeiten beziehen, während auf dem B2B-Markt auch Strategien der freien Individualisierung vorzufinden sind. Aus den durchgeführten Experteninterviews geht hervor, dass eine Produktindividualisierung auf dem B2B-Markt immer nur unter Aspekten der Wirtschaftlichkeit durchgeführt wird. Das heißt, Zusatzkosten, die im Zuge der freien Individualisierung auftreten, werden bei geringen Stückzahlen entweder durch den Kunden übernommen, oder können aufgrund entsprechend hoher vereinbarter Abnahmemengen vom Anbieter getragen werden. Da auf dem B2C-Markt allerdings die durch den Endkunden abgenommen Stückzahlen gering und die Zusatzkosten für ein individualisiertes Produkt bei Neuproduktentwicklungen oder Produkthanpassungen im Vergleich zum Produktpreis hoch sind, lässt sich dieses Phänomen gut begründen. Eine mögliche Ausnahme stellen jedoch Luxusprodukte für sehr wohlhabende Zielgruppen dar. Dabei handelt es sich beispielsweise um speziell angefertigte Limousinen. Aufgrund der schweren Prognostizierbarkeit der Sonderwünsche und der sehr geringen Stückzahlen werden diese Individualisierungsmöglichkeiten nicht strategisch vorgedacht. Darüber hinaus existieren hochpreisige Produkte, bei welchen eine individuelle Entwicklung bereits in der Preisfindung berücksichtigt wird, wie beispielsweise Architektenhäuser.

Insgesamt ermöglicht das Modell jedoch eine Einordnung aller betrachteten Strategien und unterstützt dabei, das Vorgehen der jeweiligen Unternehmen im Detail zu analysieren. Dementsprechend sind weitere

Anpassungen des Modells im Sinne des Design Science-Ansatzes nicht erforderlich.

5.4 Bewertung des Modells

Anhand der durchgeführten Validierung im Zuge der Fallstudienforschung wird eine umfassende Bewertung des entwickelten Modells anhand der vier in Kapitel 3.6.1 definierten Kriterien vorgenommen.

Die Vollständigkeit des Modells kann dadurch belegt werden, dass alle betrachteten Beispiele der Individualisierung durch das Modell abgedeckt werden. Zudem bezieht sich das Modell ohne Einschränkungen auf den vollständigen Betrachtungsraum der produzierenden Industrie, wie er eingangs definiert wird. Es zeigt sich im Zuge der Validierung, dass nicht nur alle betrachteten Beispiele in das Modell eingeordnet werden können, sondern vor allem auch alle dargestellten Strategien durch mindestens ein Beispiel aufgegriffen werden. Demzufolge sind die im Modell abgebildeten Strategien vollständig.

Die Relevanz des Modells gewährleistet, dass nur für den Anwendungszweck des Modells notwendige Informationen abgebildet werden und dabei ein geeigneter Detaillierungsgrad in der Modellgestaltung gewählt wird. Dies wird vor allem im Zuge des Design Science-Vorgehens durch den Relevanzzyklus sichergestellt, der die Schnittstelle zwischen Betrachtungsdomäne und Problemstellung sowie der Modellgestaltung schafft. Die Problem- bzw. Zielstellung ist die Entwicklung eines Modells, das in der Anwendung sowohl die Einordnung vorhandener Produktportfolios als auch die Gestaltung neuer Produktportfolios ermöglicht sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen in Bezug auf den entsprechenden Entwicklungs- und Produktionsprozess zulässt. Da alle wichtigen charakterisierenden Merkmale der betrachteten Fallstudien im Modell mit den abgebildeten Informationen und dem vorhandenen Detaillierungsgrad eindeutig dargestellt werden können, kann darauf geschlossen werden, dass das Modell in Bezug auf den Betrachtungsraum eine entsprechende Relevanz aufweist. Darüber hinaus wird es auf Basis der durchgeführten Abstraktion des Modells (siehe Kapitel 4.5.2) möglich, entsprechende Implikationen für den Entwicklungs- und Produktionsprozess einer Individualisierungsstrategie abzuleiten bzw. eine vorhandene strategische Positionierung diesen Empfehlungen gegenüberzustellen.

Darüber hinaus soll der Design Science-Ansatz auch die Richtigkeit des Modells sicherstellen. Dabei ist der Rigorzyklus entscheidend, der die wissenschaftliche Fundierung in der Modellentwicklung sicherstellt und zur Qualitätssicherung der syntaktischen Richtigkeit dient. Der Relevanzzyklus wiederum soll gewährleisten, dass das Modell struktur- und verhaltensgetreu in Bezug auf den zugrundeliegenden Betrachtungsraum ist. Dies entspricht der semantischen Richtigkeit. Die Validierung weist auf keine Schwächen in Bezug auf die Richtigkeit des Modells hin. Es ergeben sich weiterhin keine Widersprüche bei der Einordnung der betrachteten Fallbeispiele, was ein weiterer Beleg für die Richtigkeit des Modells ist. Der dem Modell zugrundeliegende Ausschnitt der Realität (Bezugsrahmen) ist definiert durch die Individualisierung von Produkten, die einem industriellen Produktionsprozess unterliegen. Durch die Analyse der von realen Fallbeispielen im Zuge der Modellerstellung wird durch den Relevanzzyklus sichergestellt, dass das Modell strukturgetreu gegenüber dem Bezugsrahmen ist. Die Verhaltenstreue hingegen wurde hingegen anhand der Einordnung der Fallbeispiele in das entwickelte Modell gezeigt.

Die Validierung stellt darüber hinaus die Implementierbarkeit des Modells sicher. Durch die Anwendung des Modells auf verschiedene Fallbeispiele wird die entsprechende praktische Eignung des Modells überprüft und bewiesen. Auch hierbei treten im Zuge der Strategiezuzuweisung keine Probleme in Bezug auf die Verständlichkeit des Modells oder Widersprüche auf.

Insgesamt zeigt die Validierung anhand des Ansatzes der Fallstudienforschung, dass das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modell eine ausreichende Qualität in Bezug auf Vollständigkeit, Relevanz, Richtigkeit und Implementierbarkeit aufweist. Somit bietet das Modell eine Möglichkeit zur Strukturierung und Charakterisierung von Strategien der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie, das über bestehende Ansätze hinausgeht und vor allem eine hohe Modellqualität aufweist.

6 Untersuchung der Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung

Abschließend werden die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung betrachtet. Grundlage hierfür stellt das in Kapitel 2.4 geschaffenen Verständnisses von Industrie 4.0 dar, welches die Vernetzung von Informationen und somit die Generierung und anschließende Nutzung von Wissen zur Gestaltung und Optimierung des gesamten Wertschöpfungsprozesses eines Produktes von der Idee und Produktentwicklung bis hin zur Nutzung und dem Service fokussiert.

6.1 Evaluierung des Zusammenhangs zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung

Für die Evaluierung des Zusammenhangs zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung wird zunächst herausgearbeitet, welche Bedeutung der Produktindividualisierung derzeit im Kontext Industrie 4.0 über die bisherige grundsätzliche Betrachtung in Kapitel 2 hinaus zukommt. Dazu werden zwei verschiedene Formen der Erhebungen durchgeführt, eine qualitative Inhaltsanalyse sowie eine empirische Auswertung. In einer weiteren Betrachtung wird anschließend versucht, mithilfe der veröffentlichten Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 ein Zusammenhang zwischen den Möglichkeiten der Industrie 4.0 und deren Einfluss auf die Produktindividualisierung herauszuarbeiten.

6.1.1 Qualitative Inhaltsanalyse

Zunächst soll der Zusammenhang zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung in der Literatur ermittelt werden. Dazu wird das Verfahren der Inhaltsanalyse herangezogen. Die Inhaltsanalyse stellt eine quantifizierende Methodik zur Analyse von Texten dar. Inhaltliche Informationen werden aus Texten entnommen und anschließend hinsichtlich Häufigkeiten und Verteilungen untersucht. Dies beinhaltet ein standardisiertes Vorgehen: Vor der Analyse werden zunächst ein geschlossenes Kategoriensystem definiert, zu untersuchende Texte in Analyseeinheiten zerlegt und anschließend auf relevante Informationen durchsucht, diese extrahiert und dann den festgelegten Kategorien zugeordnet. So kann die

Häufigkeit des Auftretens bestimmter Kategorien in Texten erfasst werden. [61, 62]

Allerdings wird in der Literatur häufig Kritik daran geäußert, dass die quantitative Inhaltsanalyse keine Unterschiede in der Bedeutung von Textelementen berücksichtigt. Aus diesem Grund wird die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING herangezogen, die auf die quantitative Inhaltsanalyse aufsetzt, aber zusätzlich eine qualitative Überprüfung mit einbezieht. Alle Informationen werden dabei zusätzlich interpretiert und in einen Kontext gesetzt. So kann sichergestellt werden, dass auch nur Informationen berücksichtigt werden, die auch für die Beantwortung der Forschungsfrage tatsächlich relevant sind. [63, 62, 64]

Für die Durchführung der qualitativen Inhaltsanalyse werden insgesamt 100 deutschsprachige Publikationen in Form von Büchern, Whitepapers und wissenschaftlichen Veröffentlichungen herangezogen, die sich mit dem Thema Industrie 4.0 befassen. Die Einschränkung auf deutschsprachige Publikationen wird vorgenommen, da es sich bei Industrie 4.0 um einen deutschsprachigen Begriff handelt und zudem ein äquivalenter englischsprachiger Begriff fehlt.

Die Auswertung zeigt, dass über die Hälfte der Publikationen, die das Thema Industrie 4.0 thematisieren, gleichzeitig auch die zunehmende Individualisierung von Produkten aufgreifen. Davon sehen 60 Prozent Produktindividualisierung als Treiber für die Umsetzung von Industrie 4.0-Technologien, 40 Prozent heben Industrie 4.0 als Befähiger für die Realisierung von Produktindividualisierung hervor. Die beiden ergänzenden Inhaltskategorien der zunehmenden Flexibilität in der Produktion und der Fertigung in Losgröße 1 weisen ebenfalls eine große Übereinstimmung auf. 85 Prozent führen gleichzeitig die Flexibilität und 49 Prozent das Ziel bzw. die Notwendigkeit der Fertigung in Losgröße 1 mit auf. Die qualitative Inhaltsanalyse macht somit deutlich, dass die Produktindividualisierung innerhalb der Industrie 4.0 zumindest in der Literatur eine entscheidende Rolle spielt.

6.1.2 Empirische Auswertung

Eine weitere Betrachtung analysiert, welcher Bezug zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung in der Praxis besteht. Als Grundlage hierfür dienen zwei Datenbanken mit Praxisbeispielen. Bei der ersten Datenbank handelt es sich um die „Landkarte Industrie 4.0“ die durch die Plattform

Industrie 4.0 bereitgestellt wird. Diese Landkarte dokumentiert eine kontinuierlich wachsende Zahl von Anwendungsfällen, die mittels virtueller Stecknadeln auf einer Deutschlandkarte lokalisiert sind. Unternehmen und Forschungseinrichtungen können sich dort registrieren und ein Umsetzungsbeispiel eintragen. Dies wird zunächst durch das BMWi geprüft und nach Freigabe in die Landkarte aufgenommen. Die Landkarte soll als Informationsplattform für Unternehmen dienen, die sich über bereits erfolgreich umgesetzte Projekte, Ideen sowie vorhandene Testumgebungen informieren und Anregungen für die eigenen Tätigkeiten gewinnen wollen. Die Landkarte Industrie 4.0 umfasst insgesamt 262 Anwendungsbeispiele¹, die für die Auswertung herangezogen werden.

Neben der Landkarte Industrie 4.0 existiert eine Vielzahl weiterer Sammlungen für Anwendungsbeispiele und Best Practices für die Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten [65]. Eine dieser Sammlungen stellt das „Innovation Register“ der Pierre Audion Consultants (PAC), einem Beratungs- und Marktforschungshaus mit Fokus auf der ITK-Branche, dar, das als zweite Datenbank für die Auswertung herangezogen wird. Auch hier können sich Unternehmen eigenständig mit entsprechenden Anwendungsbeispielen registrieren. Damit verfolgt das PAC Innovation Register einen ähnlichen Ansatz wie die zuvor beschriebene Landkarte Industrie 4.0. Die Anwendungsbeispiele lassen sich jedoch hier nach Kriterien wie beispielsweise Branche, Technologie, Unternehmensgröße oder Länder selektieren, wodurch eine gezielte Suche hinsichtlich der eigenen Relevanz ermöglicht wird. Demzufolge ist es Unternehmen möglich, Anwendungsfälle zu identifizieren, die einen möglichst großen Bezug zur eigenen Situation haben. Das Innovation Register gibt einen Überblick über knapp 500 weltweite Anwendungsfälle, wovon sich 306 Anwendungsfälle² auf Unternehmen der produzierenden Industrie beziehen, Beispiele aus anderen Industriebereichen bleiben unberücksichtigt. [66][67]

Insgesamt ergibt sich daraus unter Berücksichtigung von Anwendungsbeispielen, die in beiden Datenbanken aufgeführt sind, eine Datenbasis von 556 Anwendungsbeispielen aus Wirtschaft und Forschung. Diese beziehen sich allerdings nicht nur auf Hardwareprodukte, sondern auch auf Softwarelösungen, Dienstleistungen und hybride Leistungsbündel. Da sowohl Softwarelösungen als auch Dienstleistungen nicht in den Betrachtungs-

¹ Stand Juli 2017

² Stand September 2017

bereich dieser Arbeit fallen, werden diese nicht für die Auswertung herangezogen. Es verbleiben daher 207 Anwendungsbeispiele aus dem Bereich der Hardwareprodukte und der hybriden Leistungsbündel, die hinsichtlich ihres Bezugs zur Produktindividualisierung untersucht werden.

In der Auswertung findet eine zusätzliche Unterscheidung in Anbieter- und Anwendersicht statt. Die Anbietersicht beschreibt dabei Unternehmen, die Industrie 4.0-Technologien, welche die Produktion individualisierter Leistungen unterstützen sollen, zum Verkauf anbieten. Dagegen umfasst die Anwendersicht Unternehmen, welche entsprechende Technologien zur Herstellung individualisierter Produkte nutzen. Dabei handelt es sich um zwei grundsätzlich verschiedene Sichtweisen, da zum einen Technologielieferanten und zum anderen Produkthersteller, welche die entsprechenden Technologien einsetzen, beschrieben werden. Daher wird diese grundsätzliche Unterscheidung auch in der Auswertung herausgestellt.

Wie die Auswertung in Bild 53 zeigt, haben nur rund ein Sechstel der Anwendungsbeispiele überhaupt einen Bezug zur Produktindividualisierung. Dabei ist hervorzuheben, dass ein Großteil der Beispiele aus Anwendersicht beschrieben ist, also hier tatsächlich Produktindividualisierung mit Unterstützung durch Industrie 4.0-Technologien stattfindet.

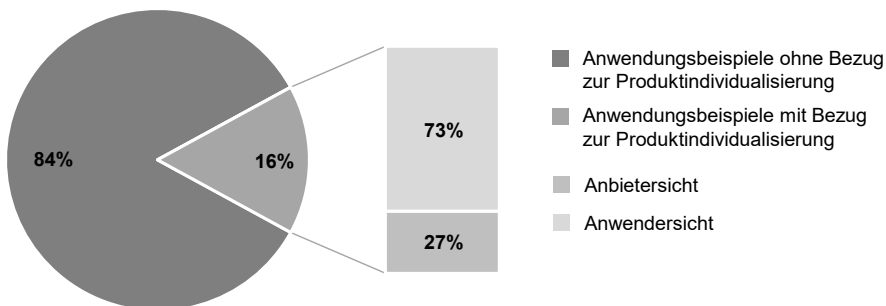


Bild 53: Auswertung der Datenbasis (Gesamtzahl: 207 Anwendungsbeispiele)

Insgesamt zeigt sich jedoch, dass die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse und der empirischen Auswertung stark voneinander abweichen. Während in der wissenschaftlichen Literatur ein klarer Bezug zwischen Industrie 4.0 und Produktindividualisierung herausgestellt und Industrie 4.0 als Befähiger für eben diese propagiert wird, zeigt die Praxis ein konträres Bild. Das Thema Produktindividualisierung spielt über die betrachteten Industrie 4.0-Umsetzungsbeispiele hinweg eher eine untergeordnete Rolle. Aufgrund dieser widersprüchlichen Aussagen von Theorie

und Praxis wird nachfolgend eine weitere Untersuchung durchgeführt, die zudem auf Basis des entwickelten Modells eine tiefergehende Analyse als beide vorangegangenen Betrachtungen bietet.

6.2 Ansatz zur Untersuchung des Einflusses von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung auf Basis von Anwendungsszenarien

Industrie 4.0 ist, wie eingangs geschildert, ein sehr komplexes und vor allem vielschichtiges Thema. Unter dem Begriff werden oft zahlreiche Technologien zusammengefasst, das Gesamtkonzept bleibt jedoch für den Anwender häufig unklar. Es fehlt ein umfassendes Gesamtbild. Die Plattform Industrie 4.0 versucht mit einem Ansatz auf Basis verschiedener Anwendungsszenarien dieser Herausforderung zu begegnen. Mit der Darstellung von verschiedenen Anwendungsszenarien wird anhand des Stands der Technik dargestellt, wie mittels der vorhandenen technologischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 neue Potentiale in der produzierenden Industrie geschöpft werden können. Daneben zeigen die Anwendungsszenarien vor allem auch die vorherrschenden Herausforderungen, die Kunden und Markt aktuell treiben sowie vorhandenen Handlungsbedarf auf. Insgesamt existieren derzeit neun Anwendungsszenarien. Es ist allerdings anzumerken, dass trotz des Ziels, mithilfe der neun beschriebenen Anwendungsszenarien ein möglichst umfassendes Gesamtbild aufzuzeigen, kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht. [68]

Weitere vergleichbare Ansätze existieren derzeit nicht. Daher werden die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 als Grundlage für die nachfolgende Untersuchung des Einflusses von Industrie 4.0 auf Produktindividualisierung herangezogen. Durch den Anwendungsbezug und die Darstellung des konkreten Nutzens zeichnen sich diese durch Realitätsnähe aus. Eine nutzenbasierte Betrachtung ist für das Vorhaben deutlich vielversprechender als eine reine Bewertung auf technologischer Ebene. So findet nicht nur eine Untersuchung einzelner Technologien, die der Industrie 4.0 zugeschrieben werden, in Form von Insellösungen statt. Denn häufig ist vor allem das Zusammenwirken von verschiedenen Technologien entscheidend, um einen entsprechenden Nutzen zu erzielen. [P3] Eine sinnvolle Bewertung auf Basis einzelner Technologien ist zudem teilweise nicht möglich. Darüber hinaus erschwert eine solche, isolierte Betrachtung vor allem die Herstellung eines Bezugs zur Produktindividualisierung in der Bewertung.

Ziel ist es, mithilfe der Anwendungsszenarien den Zusammenhang zwischen den Möglichkeiten der Industrie 4.0 und deren Einfluss auf die Produktindividualisierung herauszuarbeiten. Im Nachfolgenden wird dazu zunächst ein Überblick über die einzelnen Anwendungsszenarien gegeben, bevor eine nähere Untersuchung hinsichtlich Produktindividualisierung anhand der in Kapitel 4 erarbeiteten Individualisierungsstrategien vorgenommen wird. Wie bereits angeführt, unterscheidet die Plattform Industrie 4.0 insgesamt neun verschiedene Anwendungsszenarien. Diese werden im Rahmen der Betrachtung jeweils kurz erläutert und auf die Problemstellung und die entsprechende Lösung eingegangen. Auch etwaige Details und Hintergründe werden in der Bewertung der einzelnen Szenarien näher erläutert. Soweit nicht anders gekennzeichnet, sind die nachfolgenden Beschreibungen der Anwendungsszenarien inhaltlich angelehnt an [68]. Ergänzt wird die Untersuchung um ein weiteres Anwendungsszenario der additiven Fertigung, das bisher nicht in den Szenarien der Plattform Industrie 4.0 verankert, aber bereits als weiteres Anwendungsszenario geplant ist.

Auch wenn neben der anwachsenden Volatilität der Märkte und den zunehmend kürzer werdenden Produktlebenszyklen vorwiegend über nahezu alle Anwendungsszenarien hinweg die steigende Individualität der Kundenwünsche, die hohen Varianz der zu fertigenden Produkte sowie die flexiblen und immer kleiner werdenden Losgrößen bis hin zur Losgröße 1 als zentrale Treiber genannt werden, so gehen die Anwendungsszenarien doch nicht auf die tatsächliche Auswirkung und den Nutzen für die Individualisierung von Produkten ein. Diese Untersuchung und Bewertung ist Gegenstand dieser Arbeit und stellt gleichzeitig eine weitere Detaillierung der Anwendungsszenarien dar.

6.2.1 Auftragsgesteuerte Produktion

Ausgangspunkt für das Anwendungsszenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ (AGP) sind die immer kürzer werdenden Innovations- und Produktlebenszyklen sowie neue Produktionstechnologien. Sowohl die hergestellten Produkte als auch die eingesetzten Materialien wandeln sich immer schneller. Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung, darauf innerhalb kürzester Zeit zu reagieren und ihre Produktionsressourcen den sich ständig wandelnden Aufgaben anzupassen, was vor allem mit einer steigenden Zahl an kurzfristigen Investitionsentscheidungen einhergeht.

Diesem Problem kann begegnet werden, indem Unternehmen in Form von Wertschöpfungsnetzwerken eine Vernetzung über die eigenen Unternehmensgrenzen hinweg schaffen. Ziel ist es, Produktionsressourcen innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerkes zur Verfügung zu stellen. Das ermöglicht zum einen eine schnelle Anpassung an veränderte Marktbedingungen und eine kurzfristige Erweiterung des eigenen Portfolios durch die Nutzung von vorhandenen Kapazitäten im Netzwerk und zum anderen eine optimale Auslastung der eigenen Kapazitäten durch das Anbieten freier Kapazitäten im Netzwerk. Unternehmen können sich so auf Fertigungsschritte spezialisieren und konzentrieren, durch welche sie in der Lage sind, sich abzugrenzen und so Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Das eigene Fertigungsspektrum kann sowohl horizontal (Fertigungsprozess) als auch vertikal (Fertigungstiefe) flexibel angepasst werden. Investitionen sind dafür nicht notwendig. Anstelle von starren Beziehungen zwischen Unternehmen treten dynamische Wertschöpfungsketten im Netzwerk, die sich je nach Auftrag ändern.

Trotz der Einbindung von externen Fertigungskapazitäten soll der Fertigungsprozess möglichst selbstständig anhand einer automatisierten Auftragsvergabe und Produktionsplanung und -steuerung im Netzwerk erfolgen. Dies erfordert eine Standardisierung einzelner Fertigungsschritte sowie die Fähigkeit der Selbstbeschreibung der einzelnen Produktionsressourcen. So wird eine flexible Kombination von Fertigungsschritten im Netzwerk ermöglicht.

Bewertung

Das Anwendungsszenario AGP hat einen unterschiedlichen Einfluss auf die einzelnen identifizierten Individualisierungsstrategien. Innerhalb der Strategien der Neuproduktentwicklung, Produktanpassung und Fertigungsprozessanpassung ermöglicht die AGP eine Erweiterung des Realisierungsraums und hat somit einen treibenden Einfluss. Unternehmen sind nicht mehr auf die eigenen Produktionsressourcen eingeschränkt und müssen gegebenenfalls keine zusätzlichen Investitionen tätigen, um Kundenwünsche realisieren zu können. Erfordert ein individualisiertes Produkt einen oder mehrere Fertigungsprozessschritte, die durch die eigenen Produktionsressourcen nicht abgebildet werden können, so kann auf geeignete Ressourcen im Netzwerk zurückgegriffen werden. Allerdings wird mittels der AGP nicht nur eine Auslagerung von Fertigungsschritten, sondern auch die Beschaffung von Produktbestandteilen über das Netzwerk möglich. Folglich stehen so mehr Freiheiten für die Gestaltung von Produkt und

Prozess zur Verfügung, die sich wiederum in den Individualisierungsmöglichkeiten niederschlagen. Idealerweise müssen so zum einen weniger Aufträge aufgrund fehlender Realisierbarkeit abgelehnt werden und zum anderen können Investitionskosten in die eigenen Produktionsressourcen und somit auch die Kosten für die Fertigung individualisierter Produkte reduziert werden.

Auch auf parametrisierbare Produkte, Baukastenprodukte und veredelbare Produkte nimmt die AGP einen entscheidenden Einfluss. Alle drei Individualisierungsstrategien erfordert das Vorhalten des Flexibilitätskorridors in der Fertigung, mittels dessen die angebotenen Varianten bzw. Individualisierungsmöglichkeiten realisiert werden können. Das Vorhalten des Flexibilitätskorridors ist mit entsprechenden Kosten sowohl in der Investition in die notwendigen Produktionsressourcen als auch im laufenden Fertigungsbetrieb verbunden. Die AGP bietet die Möglichkeit, die notwendige Flexibilität an das Wertschöpfungsnetzwerk auszulagern. Durch die entsprechende Vernetzung kann die Fertigung bestimmter Komponenten oder auch einzelner Varianten im Netzwerk vorgesehen werden, wodurch hierfür keine eigenen Produktionsressourcen vorgehalten werden müssen. Dies bietet sich vor allem für Produkte bzw. Varianten an, die einen geringen Mengenanteil an den verkauften Produkten ausmachen. So können insgesamt Kosten eingespart und mehr Varianten bzw. Individualisierungsmöglichkeiten angeboten werden, ohne dass dies eine Auswirkung auf die eigene Fertigung hat.

Bei konfigurierbaren Produkten kommt die AGP nur in begrenztem Maße zum Tragen. Es handelt sich hier vorwiegend um Massenprodukte, bei denen den Kunden einzelne Konfigurationsmöglichkeiten offeriert werden. Ziel ist es, dabei möglichst nahe an der Massenfertigung zu produzieren und eine hohe Effizienz sicherzustellen. Daher ist der Flexibilitätskorridor bereits aus strategischer Sicht stark begrenzt. Eine Auslagerung der Flexibilität in ein Wertschöpfungsnetzwerk bietet sich grundsätzlich an, allerdings muss darauf geachtet werden, dass dies nicht eher zu Effizienzeinbußen führt als zusätzlichen Nutzen zu stiften. Folglich ist der Einfluss der AGP hier deutlich geringer als bei den anderen Individualisierungsstrategien ausgeprägt.

6.2.2 Wandlungsfähige Fabrik

Ähnlich wie bei der AGP sind auch für das Anwendungsszenario „Wandlungsfähige Fabrik“ (WFF) die immer kürzer werdenden Produkt- und Innovationszyklen treibend, was zu steigenden Anforderungen an

Produktionssystemen führt. Bei Investitionen in neue Produktionssysteme müssen zukünftig geforderte Fähigkeiten und mögliche Adaptionen am Produktionssystem im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden, um eine langfristige Nutzung des Produktionssystems zu ermöglichen. Eine weitere Herausforderung, mit der sich Unternehmen konfrontiert sehen, ist die steigende Volatilität der Aufträge, die eine optimale Auslastung von Fertigungslinien zunehmend erschwert. Bisherige starr geplante Produktionssysteme kommen dabei nicht mehr zum Tragen, vielmehr werden modulare und auftragsspezifisch wandelbare Fertigungskonfigurationen gefordert, um auf sich ändernde Markt- und Kundenanforderungen reagieren zu können. Durch die Möglichkeit eines schnellen, aufwandsarmen und idealerweise automatisierten Umbaus von Produktionssystemen kann im Zuge der WFF sowohl eine Anpassung der Fähigkeiten als auch der Kapazitäten erfolgen. Voraussetzung hierfür ist ein modulares Produktionssystem, das aus intelligenten und interoperablen Modulen mit standardisierten Schnittstellen besteht, die eine schnelle Rekonfigurierbarkeit und Kombinationsfähigkeit der einzelnen Module gewährleisten. So wird eine Steigerung von der Gesamtauslastung und der Lieferfähigkeit ermöglicht. Zudem bringt die standardisierte Modularisierung den Vorteil mit sich, dass ohne Schnittstellenprobleme Produktionseinheiten verschiedener Anbieter im Produktionssystem kombiniert werden können.

Der Unterschied zur AGP besteht darin, wie der Flexibilitätskorridor geschaffen wird. Während die AGP auf die flexible Nutzung bestehender Produktionssysteme durch Vernetzung in einem Wertschöpfungsnetzwerk abzielt, setzt die WFF den Fokus auf die Schaffung von Flexibilität innerhalb eines Unternehmens mittels vorgedachter Wandlungsfähigkeit, die die Möglichkeit zum physischen Umbau von Produktionssystemen gibt.

Bewertung

Der Einfluss der WFF auf die verschiedenen Individualisierungsstrategien ist sehr unterschiedlich. Für die Neuproduktentwicklung und Produktanpassung stellt dieses Anwendungsszenario eine Alternative zur AGP dar und hat ebenso einen treibenden Einfluss auf die beiden Individualisierungsstrategien. Der Unterschied dabei besteht wie bereits oben erläutert darin, dass durch die Wandlungsfähigkeit der vorhandene Realisierungsraum innerhalb des Unternehmens erweitert wird und keine externen Produktionsressourcen hinzugezogen werden. Es handelt sich um eine strategische Entscheidung, welches der beiden Anwendungsszenarien zur Erweiterung des eigenen Realisierungsraums für die Fertigung individueller Produkte herangezogen wird. Allerdings ist die Realisierung einer

WFF im Gegensatz zur AGP mit hohen Investitionskosten verbunden ist und die resultierenden Möglichkeiten unter Umständen dennoch deutlich eingeschränkter sind als bei der AGP.

Für die Fertigungsprozessanpassung spielt die WFF ebenso eine entscheidende Rolle. Sie ist eine wichtige Voraussetzung für eine entsprechende effiziente Anpassung der Fertigungsprozesse auf Kundenwunsch. Auch hier kann der mögliche Realisierungsraum durch die Wandlungsfähigkeit vergrößert werden.

Die WFF birgt für parametrisierbare Produkte, Baukastenprodukte sowie veredelbare Produkte die Möglichkeit, durch die Erweiterung des Flexibilitätskorridors dem Kunden mehr Varianten bzw. Individualisierungsmöglichkeiten anbieten zu können, da durch das Vordenenken einer bestimmten Wandlungsfähigkeit der vorhandene Lösungsraum ausgebaut werden kann. Allerdings ist der Einfluss der WFF hier deutlich geringer als bei der Neuproduktentwicklung, Produkt- und Fertigungsprozessanpassung. Es handelt sich vielmehr um einen Nebeneffekt, da der notwendige Flexibilitätskorridor zur Produktion des vorhandenen Produktspektrums bereits vorgedacht ist. Die WFF dient lediglich der Erweiterung des Produktspektrums.

Noch geringer ist der Einfluss der WFF auf konfigurierbare Produkte. Wie bereits bei der AGP erläutert, handelt es sich dabei um Produkte, die nahe an der Massenfertigung produziert werden und daher der vorhandene Lösungsraum aus strategischer Sicht stark begrenzt ist. Daher ist eine Lösungsraumerweiterung durch die WFF zwar ein möglicher Nebeneffekt aber unter Umständen nicht gewünscht.

6.2.3 Selbstorganisierende adaptive Logistik

Das Anwendungsszenario „Selbstorganisierende adaptive Logistik“ (SAL) zielt auf eine Steigerung der Flexibilität und Reaktionsfähigkeit in der Logistik ab. Dies bezieht sich sowohl auf die Intralogistik als auch auf die unternehmensübergreifende Supply Chain bis hin zum Endkunden. Forderung ist bereits heute eine Just-in-sequence-Logistik, das heißt, geforderte Komponenten werden zur richtigen Zeit in der richtigen Menge an den richtigen Ablageort geliefert. Im Zuge einer zunehmenden Volatilität und Heterogenität der Nachfrage wird dies allerdings zunehmend zur Herausforderung. Dies soll durch eine neue Form der intelligenten Logistik gelöst werden. Für die Intralogistik bedeutet dies, dass starre Materialflusskonzepte durch autonome Transportfahrzeuge abgelöst, Intralogistik

und Produktionslinien stärker aneinander gekoppelt werden und sich Werkstücke in einem selbstlernenden System selbstständig ihren Weg durch die Fertigung navigieren.

Für die unternehmensübergreifende Logistik ist vor allem eine steigende Transparenz und Kommunikation erforderlich. Veränderte Produktionsbedingungen und Materialbedarfe müssen Lieferanten direkt mitgeteilt werden sowie Informationen zum aktuellen Auftragsstatus durchgängig zur Verfügung stehen. Ein intelligentes Routing der Logistikaufträge über alle verfügbaren Transportwege steigert zudem die Lieferzuverlässigkeit und -geschwindigkeit.

Insgesamt ist so eine Steigerung der Transparenz, Flexibilität und vor allem auch Intelligenz über die gesamte Logistikkette möglich. Zudem wird die Robustheit von Lieferketten in Wertschöpfungsnetzwerken deutlich erhöht, da auf mögliche Störungen besser reagiert werden kann, wodurch Lagerbestände und somit auch Kosten reduziert werden können.

Bewertung

Das Anwendungsszenario SAL wirkt ähnlich wie die AGP, nur dass sich die SAL auf die Logistik und nicht auf die Produktion bezieht. Allerdings weist die SAL in den meisten Fällen keinen direkten Bezug zur Produktindividualisierung auf. Somit ist auch kein Einfluss der SAL auf die verschiedenen Individualisierungsstrategien vorhanden. Die SAL dient nur der Optimierung der Fertigung individueller Produkte, z.B. durch verkürzte Lieferzeiten, hat aber keinen Einfluss auf die prinzipielle Machbarkeit auf strategischer Ebene.

Eine Ausnahme stellt die Individualisierungsstrategie der konfigurierbaren Produkte dar, hier ist ein wesentlicher Einfluss erkennbar. Dabei ist vor allem die Automobilindustrie hervorzuheben. Ein PKW ist ein typisches Beispiel für ein konfigurierbares Produkt. Bei dem Großteil der in einem Fahrzeug verbauten Komponenten handelt es sich um Zulieferteile. Daher ist eine funktionierende Logistik unerlässlich, um die effiziente Integration von Zulieferteilen zu ermöglichen. Durch eine SAL ist hier eine sinnvolle Erweiterung des Lösungsraumes für konfigurierbare Produkte möglich. Das heißt, es können mehr Auswahlmöglichkeiten in der Konfiguration angeboten werden, ohne dass Lagerhaltungs- oder Logistikkosten für die größere Anzahl an notwendigen Komponenten steigen.

6.2.4 Value Based Services

Das Anwendungsszenario „Value Based Services“ (VBS) fokussiert die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle durch die Erfassung und Verarbeitung von Daten, die aus der Nutzung eines Produktes entstehen. Im Zentrum des Anwendungsszenarios steht die Gestaltung eines Wertschöpfungsnetzwerkes für Dienstleistungen. Neben den klassischen Akteuren des Anbieters und des Nutzers eines Produktes entstehen hier die Rollen des Plattform- und des Service-Providers, die als Intermediäre an der Schnittstelle zwischen Anbieter und Nutzer fungieren. Der Plattform-Provider stellt mit der Plattform die notwendige Infrastruktur für den Datenaustausch im Wertschöpfungsnetzwerk bereit. Der Service-Provider analysiert die Daten aus der Nutzung von Produkten und Prozessen, die über die Plattform gesammelt und strukturiert bereitgestellt werden. Mittels dieser Daten leitet er Maßnahmen und Optimierungspotentiale ab und entwickelt individuelle Dienstleistungen. Dabei handelt es sich beispielsweise um optimierte Wartungszyklen oder individuell abgestimmte Prozess- oder Betriebsparameter für eine Anlage.

Bewertung

Eine Individualisierung der im Anwendungsszenario angebotenen Serviceleistungen ist möglich, da diese in der Regel aus den individuellen Nutzungsdaten generiert werden. Ein grundsätzlicher Bezug zur Produktindividualisierung ist folglich vorhanden. Allerdings wirkt das Anwendungsszenario nicht auf die Gestaltung von Produkten oder Produktionsprozessen, sondern zielt durch die Entwicklung ergänzender Dienstleistungen zu bestehenden Produkten lediglich auf die Neugestaltung von Wertschöpfungsprozessen im Service ab. Daher liegt dieses Anwendungsszenario nicht im Betrachtungsrahmen der Arbeit und ein Einfluss auf die erarbeiteten Individualisierungsstrategien, die sich auf Produkt und Produktionsprozess fokussieren, ist folglich nicht vorhanden.

6.2.5 Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte

Das Anwendungsszenario „Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“ (TWP) zielt auf die Gestaltung des Produktes in Bezug auf Serviceleistungen ab. Ähnlich wie bei den VBS basiert die TWP somit auf Dienstleistungen, stellt allerdings nicht das Wertschöpfungsnetzwerk, sondern das Produkt selbst in das Zentrum. Während bei herkömmlichen

Produkten der Hersteller nach der Auslieferung eines Produktes nur noch geringe Möglichkeiten hat, dieses zu verändern oder Informationen über dessen Einsatz zu erhalten, soll die TWP ermöglichen, nutzungsbezogene Daten von Produkten transparent zu erfassen und mittels Wandlungsfähigkeit Produkte durch eine Veränderung der Betriebsparameter den jeweiligen Einsatzbedingungen anzupassen oder zusätzliche Funktionalitäten freizuschalten. Diese Möglichkeiten müssen entsprechend in der Produktgestaltung als Optionen vorgesehen werden. Allerdings ist bei der Auslieferung eines Produktes die Ausprägung der Optionen nicht zwingend definiert bzw. können sich diese über den Produktlebenszyklus ändern. Dies wird durch Softwaremodule ermöglicht, die vom Anbieter nachträglich verändert oder ergänzt werden können.

Zudem ist der After Sales Service durch die Transparenz in der Nutzung der Produkte in der Lage, dem Kunden individuelle ergänzende Dienstleistungen anzubieten, die auf den Einsatz seines Produktes abgestimmt sind, wie beispielsweise eine zustandsbasierte Wartung. Zukünftig ist es so auch möglich, Dienstleistungen nicht zu einem Festpreis, sondern einem auf die Nutzung abgestimmten Preis anzubieten. Für die Umsetzung der TWP ist es erforderlich, Produkte entsprechend mit Speichern, Prozessoren und internetfähigen Kommunikationsmodulen auszustatten, sodass ein direkter und kostengünstiger Zugriff des Herstellers auf die Produkte möglich ist.

Bewertung

Das Anwendungsszenario hat einen Einfluss sowohl auf die Neuproduktentwicklung als auch auf die Produktanpassung. In der Neuproduktentwicklung können Produkte bereits während der Entwicklungsphase durch entsprechende Softwaremodule individualisiert werden oder es können entsprechende Möglichkeiten vorgesehen werden, das Produkt auch nachträglich noch durch Softwarelösungen an spezifische Kundenwünsche anzupassen. Ein ähnliches Potential birgt die TWP für die Produktanpassung. Es wird möglich, ein Produkt entsprechend Kundenwünschen zu verändern, ohne dass eine physische Anpassung am Produkt vorgenommen werden muss, da sich unter Umständen die Kundenwünsche durch Softwarelösungen befriedigen lassen. Dies ist auch noch nachträglich möglich. So kann beispielsweise bei einer gewünschten Leistungsänderung eines Elektromotors durch die Entwicklung einer neuen Steuerungssoftware jegliche konstruktive Anpassung umgangen werden.

Das Anwendungsszenario nimmt allerdings bei beiden Individualisierungsstrategien nur Einfluss auf die Produktentwicklung und hat daher keinen treibenden Einfluss. Der Produktionsprozess und somit auch der fertigungsprozessbedingte Realisierungsraum werden durch das Szenario nicht beeinflusst. Aus diesem Grund spielt die TWP auch keine Rolle für die Strategie der Prozessanpassung.

Für parametrisierbare Produkte, Baukastenprodukte, konfigurierbare sowie veredelbare Produkte birgt die TWP aufgrund des fehlenden Fertigungsbezugs ebenso kein Potential, da bei allen vier Strategien die eigentliche Produktindividualisierung innerhalb des Flexibilitätskorridors der Fertigung erfolgt. Sind bei diesen Produkten entsprechende softwaretechnische Individualisierungsoptionen vorgesehen und findet eine nachträgliche Anpassung von Produkten durch den Nutzer statt, so fällt dies in den Bereich der Soft Customization und liegt nicht im Betrachtungsbereich dieser Arbeit. Eine nachträgliche individuelle Veränderung der Produkte durch den Anbieter ist der Strategie der Produkthanpassung zuzurechnen.

6.2.6 Anwenderunterstützung in der Produktion

Das Anwendungsszenario „Anwenderunterstützung in der Produktion“ (AUP) beschreibt die gezielte Unterstützung des Menschen bei seinen Tätigkeiten in der Produktion. Dies kann in verschiedenen Bereichen erfolgen. Zum einen können körperliche Tätigkeiten durch Assistenzsysteme unterstützt und der Werker so physisch entlastet werden. Zum anderen kann auch eine Anleitung zur Durchführung von Tätigkeiten erfolgen. Vor dem Hintergrund von immer kürzeren Produktlebenszyklen, steigenden Variantenzahlen sowie einer wachsenden Komplexität der zu fertigenden Produkte spielt dies eine entscheidende Rolle, da Produktionsmitarbeiter immer schneller veränderte oder erweiterte Arbeitsaufgaben erlernen müssen. Dabei gilt es, diese bestmöglich durch entsprechende Lernsysteme zu qualifizieren und kognitive Unterstützung während der Arbeitsprozesse zu leisten. [69] Darüber hinaus greift die Anwenderunterstützung auch in der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Durch neue intelligente und flexible Maschinen kann die Bedienung und Programmierung deutlich erleichtert und durch eine entsprechende Datenaufbereitung die menschliche Entscheidungskompetenz in der technischen Diagnose bei auftretenden Störungen deutlich erhöht werden. Einen großen Beitrag zur Anwenderunterstützung leisten vor allem moderne

Kommunikationstechnologien, die Produktionsmitarbeitern einen flexiblen und schnellen Zugriff auf Informationen jeglicher Art ermöglichen und als Trägermedium für verschiedene Unterstützungssysteme dienen.

Bewertung

Die Produktindividualisierung stellt grundsätzlich große Anforderungen an den Menschen in der Produktion. So muss dieser zunehmend in der Lage sein, in kurzen Zeitabständen schnell neue Arbeitsinhalte und -abläufe zu erlernen sowie die dafür notwendigen Fertigungsmittel zu bedienen, um die angebotene Variantenvielfalt zu realisieren bzw. auf Kundenwünsche reagieren zu können. Im Extremfall fordert jedes gefertigte Produkt einen individuellen Montageablauf, den es durch den Mitarbeiter umzusetzen gilt. Die AUP stellt einen Schlüssel für die notwendige Flexibilität in der Produktion seitens der Mitarbeiter dar. Denn nur durch eine entsprechende Unterstützung ist es möglich, dass komplexe und stark voneinander abweichende Produkte, die so einen hohen individuellen Anpassungsbedarf haben, überhaupt noch effizient fertigbar sind.

Insgesamt hat die AUP keinen Einfluss auf die Individualisierungsstrategien, wirkt aber als Befähiger für eine wirtschaftliche Produktindividualisierung in der Fertigung. Dies gilt grundsätzlich über alle Individualisierungsstrategien hinweg.

6.2.7 Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion

Das Anwendungsszenario „Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ (SP₂) zielt auf die Umsetzung von durchgängigen und digitalisierten Engineeringprozessen von der Anforderungsformulierung bis hin zur Produktion ab. Ziel sind dabei nicht nur durchgängige Datenketten in allen Schritten des Engineerings, sondern auch die automatisierte Weitergabe und Verfügbarkeit der im Engineering gewonnenen Daten an Produktionsplanungs- und Produktionssysteme sowie ein Datenrückfluss aus nachgelagerten Prozessen und der Nutzung von Produkten in die Produktentwicklung.

Grundlage hierfür ist eine durchgängige Datentransparenz und -nutzung sowie ein standardisierter und möglichst automatisierter Informationsaustausch. Dies erfordert wiederum neben entsprechenden Schnittstellen vor allem eine einheitliche Semantik und Syntax, welche die Daten maschinenlesbar und interpretierbar machen.

Auslöser sind auch hier immer kürzer werdende Produktlebenszyklen und eine steigende Variantenvielfalt, die eine zunehmende Geschwindigkeit und häufige Anpassungen im Bereich der Produktentwicklung fordern. Auch wenn der Produktentwicklungsprozess bereits an vielen Stellen digitalisiert ist, so ist dieser noch von zahlreichen Medienbrüchen und Datenverlusten geprägt und es sind noch viele Softwarelösungen und Konverter notwendig, um durchgängige Datenketten zu realisieren.

Durch das Anwendungsszenario werden eine zunehmende Automatisierung von nicht-kreativen Engineeringaufgaben ermöglicht und Ineffizienzen in der Produktentwicklung reduziert. Zudem wird durch standardisierte Schnittstellen die Zusammenarbeit in der Produktentwicklung deutlich vereinfacht, sowohl innerhalb eines Unternehmens, als auch im Wertschöpfungsnetzwerk von Kunden, Herstellern und Zulieferern. Insgesamt schafft das Anwendungsszenario außerdem den notwendigen Brückenschlag an der Schnittstelle zwischen Produkt- und Prozessentwicklung.

Bewertung

Da die Produktentwicklung ein zentraler Bestandteil der Produktindividualisierung ist, spielt dabei auch die entsprechende Optimierung des Produktentwicklungsprozesses eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund hat auch die SP2 einen Einfluss auf die meisten Individualisierungsstrategien.

Den größten Einfluss hat die SP2 auf die Strategien der Neuproduktentwicklung und der Produktanpassung. Beide Strategien umfassen einen hohen Anteil an kundenindividuellen Entwicklungsaufgaben. Durch die SP2 und die damit einhergehende Automatisierung nicht-kreativer Aufgaben und der Prozessoptimierung kann der Aufwand hier deutlich reduziert und die Effizienz gesteigert werden.

Auf die Prozessanpassung hingegen hat die SP2 nur einen deutlich geringeren Einfluss, da sie sich auf die Entwicklung von Produkten konzentriert. Die Prozessgestaltung, auf welche die Individualisierungsstrategie aufsetzt, liegt nicht im Fokus des Anwendungsszenarios. Allerdings ist es wichtig, auch Durchgängigkeit zu schaffen und die Verknüpfung zwischen Produkt- und Prozessentwicklung sicherzustellen, weshalb dennoch ein gewisser Einfluss der SP2 auf die Produktindividualisierung in Form einer Optimierungsmöglichkeit vorhanden ist.

Bei parametrisierbaren Produkten, Baukastenprodukte und konfigurierbaren Produkten ist der Anteil an kundenindividuellen Tätigkeiten in der Produktentwicklung sehr gering. Bei diesen Strategien steht ein Lösungsraum mit vorgedachten Auswahlmöglichkeiten und Freiräumen im Vordergrund, der es ermöglicht, ohne eine entsprechende Anpassungsentwicklung dem Kunden ein Produkt anbieten zu können, das seinen individuellen Anforderungen entspricht. Der Lösungsraum ist in der virtuellen Welt in Form von Produktmodellen abgebildet. Auch wenn der Kunde nicht direkt auf das Produktmodell Einfluss nimmt, so gilt es im Auftragsfall doch, die entsprechenden Kundenanforderungen über das Produktmodell zu legen und diese im Produktmodell abzubilden. Dabei handelt es sich um vorgedachte und nicht-kreative Schritte. Diesen Prozess der Modellanpassung und die Ableitung der entsprechenden Fertigungs- und Montageinformationen gilt es möglichst automatisiert und aufwandsarm zu gestalten. Genau an dieser Stelle greift das Anwendungsszenario, das die Optimierung eben dieser Schritte unterstützt. Bei der Individualisierungsstrategie der veredelbaren Produkte hingegen wird in der Regel das Produktmodell nicht mehr verändert. Der Kunde entscheidet dabei nur über das Aussehen seines Produktes, das keine strukturellen Auswirkungen auf das Produkt an sich hat. Somit besteht hier auch kein Bezug zur Produktentwicklung und das Anwendungsszenario kommt nicht zum Tragen.

6.2.8 Innovative Produktentwicklung

Das Anwendungsszenario „Innovative Produktentwicklung“ (IPE) fokussiert sich ebenso wie das Anwendungsszenario SP2 auf die Produktentwicklung. Im Unterschied zur SP2, die sich auf die Verknüpfung von Produkt- und Prozessentwicklung konzentriert, liegt hier der Fokus auf neuen Methoden und Prozessen in den frühen Phasen der Produktentwicklung. Ziel des Anwendungsszenarios ist es, eine Form der kollaborativen Produktentwicklung zu schaffen. Dies bezweckt eine Fokussierung auf die eigenen Kernkompetenzen, um in einem stark von Wettbewerb umkämpften Feld mit rasanten technologischen Entwicklungen weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben und fordert die Einbeziehung von verschiedenen Partnern in den Prozess der frühen Produktentwicklung. Dies können neben einem Plattform-Provider, der die entsprechende Infrastruktur für die Kollaboration zur Verfügung stellt, Entwicklungsdienstleister, Technologieanbieter oder auch Anbieter spezieller Fertigungsverfahren, sowie der Kunde selbst sein.

Durch die frühzeitige Einbindung des Kunden, beispielsweise auch in Form von Crowdfunding oder Open Innovation Communities, in den Produktentwicklungsprozess kann sichergestellt werden, dass die entwickelten Produkte den vorliegenden Kunden- bzw. Marktanforderungen entsprechen bzw. diesen möglichst nahekommen. Je früher der Kunde in den Prozess integriert wird, desto größer ist dabei die Möglichkeit der Einflussnahme. Die Einbindung verschiedener Partner und Dienstleister führt dazu, dass vorhandene Entwicklungen und Kompetenzen genutzt und so Synergieeffekte geschaffen werden können. Dadurch können Mehrfachentwicklungen vermieden und die Entwicklungszeiten von Produkten deutlich verkürzt werden. Zudem wird es möglich, immer komplexere Produkte zu entwickeln und vor allem auch neue Fertigungsverfahren und deren Restriktionen frühzeitig im Produktentwicklungsprozess zu berücksichtigen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Zusammenarbeit ist ein Beschreibungsansatz, in dem alle notwendigen Abhängigkeiten und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Systemen und Teilsystemen abgebildet sind. Zudem macht die Kollaboration zwischen verschiedenen Akteuren eine frühzeitige Validierung des Produktes notwendig. So muss eine Simulations- und Visualisierungsumgebung bereitgestellt werden, in der Produkte bereits frühzeitig abgesichert und optimiert werden können. Gleichzeitig können damit potentiellen Nutzern Produkte in einer frühen Phase zur Bewertung zur Verfügung gestellt und so eine anforderungsgerechte Entwicklung gewährleistet werden.

Bewertung

Durch die Möglichkeit zur verbesserten Berücksichtigung von Kundenanforderungen im Produktentwicklungsprozess hat das Anwendungsszenario grundsätzlich einen großen Einfluss auf die Produktindividualisierung. Hier gilt es allerdings auch, zwischen den Strategien zu differenzieren.

Die Einbindung des Kunden spielt vor allem für die Neuproduktentwicklung und die Produkthanpassung eine entscheidende Rolle. Durch die IPE kann eine entsprechende Integration des Kunden in den Produktentwicklungsprozess deutlich vereinfacht und eine simultane Validierung seitens des Kunden sichergestellt werden. Zudem kann der Realisierungsraum durch eine Einbindung von Partnern erweitert werden. Kompetente Entwicklungspartner können außerdem Effizienzgewinne schaffen, wenn seitens dieser bereits ähnliche Entwicklungen vorliegen. IPE nimmt folglich auf verschiedenen Ebenen Einfluss.

Die Prozessanpassung weist einen geringeren Bezug zum Anwendungsszenario auf. Dabei ist vor allem die Integration von Prozessspezialisten bei der Anpassung der entsprechenden Prozesse hervorzuheben. Diese können Unterstützung leisten und den Einsatz alternativer Fertigungsverfahren, wie der additiven Fertigung, erleichtern. So kann auch bei der Prozessanpassung der Realisierungsraum erweitert werden. Anbieter neuer Fertigungsverfahren wie der additiven Fertigung spielen dabei eine entscheidende Rolle.

Für parametrisierbare Produkte, Baukasten, konfigurierbare und veredeltbare Produkte ermöglicht die IPE die Entwicklung des jeweiligen Lösungsraums unter Einbindung des Kunden. So kann bereits frühzeitig auf Kundenwünsche eingegangen und diese entsprechend in der Entwicklung der Produkte und der Individualisierungsmöglichkeiten, die dem Kunden zur Verfügung gestellt werden, berücksichtigt werden. Zusätzliche Änderungen durch ein Ausweichen auf die Strategie der Produkthanpassung können dadurch vermieden werden. Bei veredelbaren Produkten ist der Einfluss der IPE prinzipiell etwas geringer als bei den anderen drei Strategien, da die Einflussmöglichkeiten des Kunden deutlich eingeschränkter sind.

6.2.9 Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen

Das Anwendungsszenario „Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“ (DDA) konzentriert sich auf die Entwicklung eines integrierten Anlagenmodells. Wichtig sind dabei vor allem die Aktualität und Konsistenz der Daten. Während bisher häufig nur in der Entwicklungsphase ein Anlagenmodell erstellt wird, das dann anschließend im Betrieb der Anlage nicht oder nur unzureichend gepflegt wird, sollen hier alle Änderungen und Informationen über den Lebenszyklus der Anlage hinweg erfasst werden. Im Zuge der steigenden Individualisierung von Produkten und flexiblen Losgrößen sind flexible und wandlungsfähige Anlagen von entscheidender Bedeutung. Entsprechende Rekonfigurationen müssen im Anlagenmodell abgebildet werden. [70]

Auf das Strukturmodell, das die Grundlage für das Anwendungsszenario darstellt, müssen alle Stakeholder entsprechend zugreifen können. Zu den Stakeholdern zählen vor allem der Integrator, der eine Schnittstellen- und Koordinationsfunktion übernimmt, der Auftraggeber selbst, der Betreiber der Anlage, der Komponenten- und Systemlieferanten, Dienstleister sowie verschiedene Softwareanbieter. In diesem Anlagenmodell sollen alle wichtigen Informationen zum Engineering, Betrieb und Service gespeichert

werden. Das Modell umfasst folglich deutlich mehr als nur ein aktuelles Abbild der realen Anlage. Die erfassten und gespeicherten Betriebsdaten bieten darüber hinaus einen Ansatzpunkt für das Anwendungsszenario VBS. [70]

Bewertung

Im Gegensatz zu anderen Anwendungsszenarien wie der TWP oder der IPE steht hier nicht das Produkt, sondern das Produktionssystem im Vordergrund. Dementsprechend ist auch der Einfluss des DDA auf die Produktindividualisierung deutlich weniger ausgeprägt.

Auf die beiden Strategien Neuproduktentwicklung und Produktanpassung hat das DDA keinen Einfluss. Bei Prozessanpassung hingegen kann das DDA dabei unterstützen, zu identifizieren, an welcher Stelle und wie das bestehende Produktionssystem anzupassen ist. Mittels Simulation können entsprechende Prozessanpassungen vorab virtuell abgesichert werden und somit Eingriffe im späteren Betrieb vermieden werden.

Für die Strategien der parametrisierbaren Produkte, Baukastenprodukte und konfigurierbaren Produkte stellt das DDA ein Hilfsmittel dar, um den flexiblen Produktionsraum entsprechend des vorhandenen Lösungsraums zu gestalten und die notwendigen Flexibilitätskorridor zu planen. Die DDA wirkt somit als Hebel zur Optimierung dieser Strategien. Ein direkter Einfluss auf die Produktindividualisierung kann allerdings nicht aufgezeigt werden. Dieser Hebel ist bei konfigurierbaren Produkten am größten, da diese, wie bereits im Anwendungsszenario AGP erläutert, möglichst nahe an einer Massenfertigung produziert werden. Daher gilt es hier, das Produktionssystem möglichst optimal auf die zu fertigenden Produkte abzustimmen, um ein Maximum an Produktionsleistung zu erzielen.

Da sich die Produktindividualisierung bei veredelbaren Produkten in der Regel nur auf einen Produktionsschritt bezieht und dieser nur ein begrenztes Maß an Flexibilität seitens des Produktionssystems erfordert, ist der Einfluss des DDA auf diese Produktionsstrategie verschwindend gering.

Auch wenn insgesamt ein Einfluss des DDA auf die Individualisierungsstrategien vorliegt, kommt das eigentliche Nutzenpotential des DDA, die Optimierung einer Anlage oder eines Produktionssystems über seinen Lebenszyklus, hier nicht zum Tragen.

6.2.10 Additive Fertigung

Die „Additive Fertigung“ (AM) stellt ein ergänzendes Anwendungsszenario dar, welches bisher nicht von der Plattform Industrie 4.0 erarbeitet wurde. Erste Überlegungen dazu sind jedoch vorhanden. Aufgrund der wachsenden Bedeutung der additiven Fertigung und des nicht von der Hand zuweisenden Potentials für die Produktindividualisierung wird dieses Anwendungsszenario ergänzend in die Bewertung aufgenommen.

Die additive Fertigung beruht auf dem Prinzip des schichtweisen Aufbaus von dreidimensionalen Objekten aus formlosem Ausgangsmaterial. Das schichterzeugende Element gilt dabei als zentrales Werkzeug. Dies ist ein fester Bestandteil einer additiven Fertigungsmaschine und wird nicht, wie bei anderen Fertigungsverfahren üblich, abhängig vom herzustellenden Produkt gewechselt. Die Formgebung erfolgt durch die Auftragung der einzelnen Schichten. Zusätzliche Formen sind nicht erforderlich. Daher wird bei der additiven Fertigung von einem form- und werkzeuglosen Fertigungsverfahren gesprochen. [71][72]

Mittels additiver Fertigung können Bauteile realisiert werden, die mit konventionellen Fertigungsverfahren so nicht gefertigt werden können. Die additive Fertigung bringt derzeit vor allem für Bauteile mit komplexen Geometrien einen großen Nutzen, die flexibel, schnell und in kleinen Stückzahlen hergestellt werden sollen. Damit birgt die additive Fertigung großes Potential für die Fertigung individueller Produkte in Losgröße 1. Vor dem Hintergrund einer steigenden Volatilität der Märkte und einer zunehmenden Nachfrage nach Produktindividualisierung gewinnt diese Technologie so maßgeblich an Bedeutung. [73]

Darüber hinaus machen kontinuierliche Prozessverbesserungen additive Fertigungsverfahren zunehmend stabiler, beherrschbarer und genauer. Der Trend der letzten Jahre zeigt zudem sinkende Preise für die Ausgangsmaterialien und eine steigende Anzahl an Materiallieferanten. Gleichzeitig wird das Materialspektrum für den Einsatz in additiven Fertigungsverfahren immerzu erweitert. [74] Durch die Prozessoptimierung und sinkende Materialpreise können zukünftig auch höhere Stückzahlen und Bauteile mit geringer Komplexität zu ökonomisch sinnvollen Stückkosten realisiert werden (siehe Bild 54). So werden additive Fertigungsverfahren in Zukunft auch in Bereichen einsetzbar sein, die heute von konventionellen Fertigungsverfahren dominiert werden. [75]

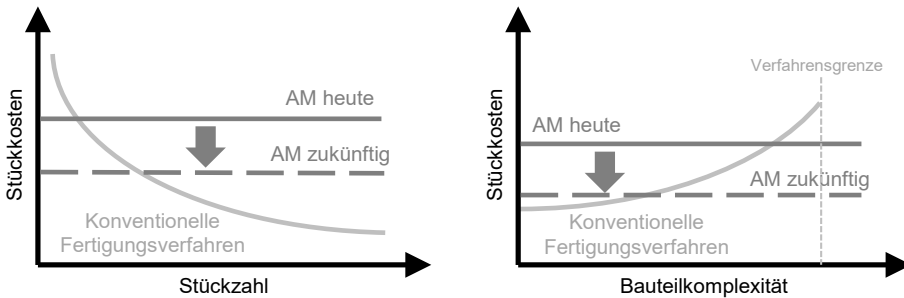


Bild 54: Prognostizierte Stückkostenentwicklung in der additiven Fertigung in Anlehnung an [75]

Trotz des aus Fertigungssicht revolutionären Charakters, werden additive Fertigungsverfahren jedoch nicht schlagartig konventionelle Fertigungsverfahren verdrängen, sondern bestehende Produktionssysteme schrittweise ergänzen und optimieren und vor allem im Bereich der Ersatzsteilfertigung eine wichtige Rolle übernehmen. [76]

Bewertung

Als form- und werkzeugloses Fertigungsverfahren hat die additive Fertigung vor allem einen treibenden Einfluss auf die Strategien der Neuproduktentwicklung und der Produkthanpassung. Zum einen kann durch den Einsatz von additiven Fertigungsverfahren die Flexibilität des Produktionssystems deutlich ausgebaut und so der Realisierungsraum vergrößert werden. Zum anderen kann die Effizienz beider Strategien deutlich gesteigert werden. Die Auftragsabwicklung wird vereinfacht, da die Anfertigung spezieller Werkzeuge und Formen entfällt.

Einen ebenso großen Einfluss hat die additive Fertigung auch auf die Prozessanpassung. Die additive Fertigung birgt das Potential, viele konventionelle Fertigungsverfahren zu ersetzen und spielt daher eine entscheidende Rolle für die Prozessanpassung. Unter Umständen kann nicht nur ein einzelner Fertigungsprozessschritt ersetzt, sondern der gesamte Fertigungs- und Montageprozess in einem additiven Fertigungsprozess zusammengefasst werden.

Darüber hinaus besitzt die additive Fertigung einen Einfluss auf die Strategie der parametrisierten Produkte. Vor allem bei Bauteilen, die mittels formgebundener, konventioneller Fertigungsverfahren hergestellt werden, kann durch den Einsatz einer additiven Fertigungstechnologie eine stufenlose Größenskalierung der Bauteile in der Produktion ermöglicht werden.

Für Baukastenprodukte, konfigurierbare Produkte und veredelbare Produkte spielt die additive Fertigung derzeit eine untergeordnete Rolle. Hierbei geht es vielmehr darum, standardisierte Bauteile nach Kundenspezifikation zu montieren bzw. zu veredeln. Da die Komponenten in der Regel in hohen Stückzahlen hergestellt werden, ist der Einsatz von additiven Fertigungsverfahren nicht wirtschaftlich. Gibt es allerdings einzelne Komponenten, die nur selten oder in geringen Stückzahlen benötigt werden, kann ein additives Fertigungsverfahren eingesetzt werden, um diese schnell auf Abruf produzieren zu können und unnötige Lagerhaltung zu vermeiden. Auf die Produktindividualisierung an sich hat dies allerdings keinen Einfluss.

6.3 Zusammenfassung der Bewertung

Nachfolgend gibt Bild 55 einen Überblick über die im Rahmen des Kapitels diskutierte Bewertung des Einflusses der einzelnen Anwendungsszenarien auf die verschiedenen Individualisierungsstrategien. Für die grafische Veranschaulichung wird eine vierstufige Bewertungsskala von *kein Einfluss* bis hin zu *treibender Einfluss* herangezogen. Es ist hervorzuheben, dass es sich dabei um eine rein qualitative Bewertung handelt. Eine Aussage, welches der Anwendungsszenarien den größten Einfluss auf die Produktindividualisierung hat, ist ohne quantitative Bewertung nicht möglich.

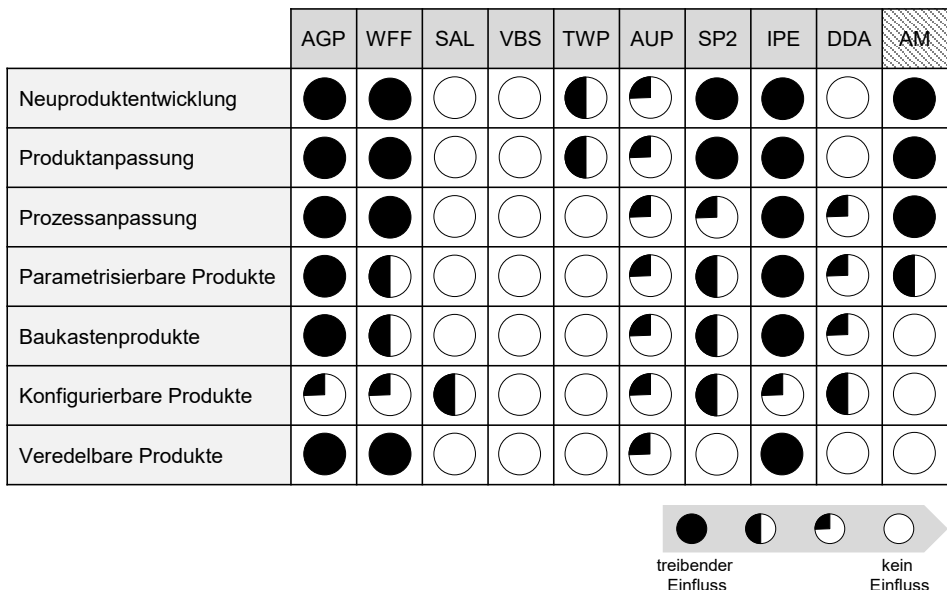


Bild 55: Qualitative Bewertung des Einflusses der Industrie 4.0-Anwendungsszenarien auf die Individualisierungsstrategien

Grundsätzlich ist jedoch ein Einfluss von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung über alle Individualisierungsstrategien hinweg zu erkennen. Allerdings zeigt sich, wie beispielsweise am Anwendungsszenario VBS, dass nicht alle Aspekte der Industrie 4.0 einen Einfluss auf die Produktindividualisierung nehmen.

Darüber hinaus gibt es Unterschiede in der Wirkung der Anwendungsszenarien auf die Individualisierungsstrategien. Es kristallisieren sich zwei maßgebliche Effekte heraus. Zum einen kann durch einzelne Anwendungsszenarien die Auftragsabwicklung individualisierter Produkte sowohl hinsichtlich Produkt- oder Prozessgestaltung als auch in der Produktion optimiert werden. Somit ist eine Effizienzsteigerung innerhalb der einzelnen Strategien möglich. Dies schlägt sich in verkürzten Lieferzeiten sowie in sinkenden Kosten und damit auch Preisen für individualisierte Produkte nieder. Lieferzeiten und Preise sprechen derzeit noch häufig vor allem im B2C-Markt gegen den Kauf individualisierter Produkte und sind gleichzeitig wichtige Voraussetzungen für Kaufentscheidungen im B2B-Markt. Zum anderen ermöglichen es einige der Anwendungsszenarien, das Spektrum der angebotenen Individualisierungsmöglichkeiten ohne zusätzliche Investitionen oder sonstige Aufwendungen zu erweitern. So können Kundenwünsche besser befriedigt oder sogar Aufträge angenommen werden, deren Realisierung ohne den Einsatz der Anwendungsszenarien nicht möglich ist. Dies führt schlussendlich ebenfalls zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit.

Folglich ist der insgesamt positive Einfluss von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung nicht von der Hand zu weisen. Die Anwendungsszenarien stellen ein geeignetes Instrument dar, um eine differenzierte Betrachtung durchzuführen und bisher eher pauschale Aussagen deutlich detaillierter zu beleuchten.

6.4 Fazit

Zusammenfassend zeigen die Ausführungen, dass dem Thema der Produktindividualisierung im Kontext der Industrie 4.0 eine hohe Bedeutung zukommt. Im Detail ergibt sich folgendes Fazit:

- Die Untersuchung anhand der Industrie 4.0-Anwendungsszenarien zeigt jedoch, dass ein entsprechendes Potential seitens Industrie 4.0 vorhanden ist, die Individualisierung von Produkten positiv zu beeinflussen.

- Die Untersuchung unterstützt die These, dass es nicht genügt, alleine den Fokus auf die pauschale Aussage der zukünftigen Fertigung kundenindividueller Produkte in Losgröße 1 zu richten. Es ist notwendig, zwischen unterschiedlichen Strategien der Produktindividualisierung zu differenzieren, was bisher allerdings noch zu wenig geschieht.
- Die Anwendungsszenarien verdeutlichen, dass nicht alle Ansätze der Industrie 4.0 den gleichen Nutzen für alle Individualisierungsstrategien stiften. Zudem weisen auch nicht alle in den Anwendungsszenarien aufgeführten Ansätze einen Einfluss auf die Individualisierung von Produkten auf. Eine allgemeine Aussage, dass alle Aspekte der Industrie 4.0 die Individualisierung von Produkten befähigen ist daher falsch. Bevor eine Aussage über die Wirkung der Ansätze der Industrie 4.0 getroffen werden kann, muss daher ein klares Untersuchungsziel definiert werden.
- Die durchgeführte Bewertung anhand der Anwendungsszenarien kann helfen, für die einzelnen Individualisierungsstrategien eine gezielte Unterstützung durch Industrie 4.0-Technologien zu erarbeiten. Daher ist es wichtig, eine gesonderte Betrachtung für die einzelnen Strategien vorzunehmen und gezielte Maßnahmen hinsichtlich Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0 zu definieren. [P4]

7 Zusammenfassung und Ausblick

Bereits seit einigen Jahrzehnten ist ein zunehmender Trend in der Nachfrage nach individualisierten Produkten zu erkennen. Im Kontext der vierten industriellen Revolution, die unter dem Begriff Industrie 4.0 propagiert wird, gewinnt das Thema Produktindividualisierung weiterhin an Bedeutung. Bestehende Zusammenhänge werden allerdings nur unzureichend aufgezeigt, eine detaillierte Betrachtung fehlt. Vielmehr entsteht der Eindruck, dass es sich bei Produktindividualisierung in Zusammenhang der Industrie 4.0 um ein Schlagwort handelt, mit dem versucht wird ein Nutzversprechen zu propagieren. Die genaue Bedeutung bleibt jedoch unklar.

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass die produzierende Industrie durch eine starke Heterogenität geprägt ist. Es wird die Notwendigkeit für eine differenzierte Untersuchung deutlich. Auf dem Konsumgütermarkt wird der zunehmende Trend zur Produktindividualisierung häufig unter dem Begriff der Mass Customization, der einer inflationären Verwendung unterliegt, zusammengefasst. Allerdings betrifft dies nur einen Teilausschnitt der produzierenden Industrie. Auch auf dem Industriegütermarkt spielt Produktindividualisierung eine wichtige Rolle. So steht der emotional begründeten Forderung nach individualisierten Produkten auf dem Konsumgütermarkt die funktionale Notwendigkeit zur Produktindividualisierung auf dem Industriegütermarkt gegenüber. Beiden Kundenbedürfnissen gilt es unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit zu begegnen.

Ein einheitliches Verständnis für den Begriff der Individualisierung existiert nicht. Obwohl bereits zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten das Themengebiet der Produktindividualisierung behandeln, fehlt zudem an vielen Stellen eine entsprechende Strukturierung. Häufig wird Produktindividualisierung nur aus einer bestimmten Perspektive heraus betrachtet und andere Teilbereiche werden vernachlässigt. Zudem sind die vorhandenen Modelle häufig sehr allgemein gehalten und weisen einen Mangel an ausreichender Anwendbarkeit auf.

Einen wesentlichen Aspekt der Forschungsarbeit stellt daher die iterative Entwicklung eines Modells dar, das in der Lage ist, einen systematischen Überblick über die existierenden Strategien der Individualisierung zu geben. Die Grundlage für die Modellentwicklung bildet der Design Science-Ansatz. Durch die zugrundeliegende Betrachtung der Ausgangssituation und der existierenden Wissensbasis kann die wissenschaftliche Fundierung und auch die Vollständigkeit des Modells sichergestellt werden. Durch den

Einbezug konkreter Fallbeispiele wird zudem auch ein entsprechender Praxisbezug zur Betrachtungsdomäne der produzierenden Industrie sichergestellt.

Ergebnis ist ein zweidimensionales Modell, das die verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung abbildet und diese in Bezug zu den verschiedenen Konkretisierungsstufen eines Produktes entlang des Wertschöpfungsprozesses setzt. Das Modell besitzt den Anspruch, eine aus strategischer Perspektive eindeutige Beschreibung für Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie zu geben. Gleichzeitig grenzt das Modell die verschiedenen existierenden Strategien der Produktindividualisierung voneinander ab und stellt diese entlang des Wertschöpfungsprozesses dar. Dabei wird sichergestellt, dass die Unterscheidung der einzelnen Strategien auf einer Detaillierungsebene stattfindet, die trotz des Anspruches auf Allgemeingültigkeit eine eindeutige Zuordnung von Fallbeispielen ermöglicht und gleichzeitig ausreichende Informationen über die zugrundeliegende Motivation und das Ziel der Strategie gibt.

Für die Validierung des Modells werden verschiedene Fallbeispiele aus dem Konsumgüter und Industriegütermarkt herangezogen. Da vor allem die Produktindividualisierung auf dem Konsumgütermarkt in der öffentlichen Diskussion stark in den Vordergrund gerückt wird, existieren dazu zahlreiche, detailliert veröffentlichte Fallbeispiele. Da allerdings die Vorgehensweisen auf dem Industriegütermarkt deutlich weniger transparent sind, werden Experteninterviews geführt, um verschiedene Individualisierungsstrategien herauszuarbeiten und auf das Modell anzuwenden. Die Validierung zeigt, dass sich alle betrachteten Fallbeispiele eindeutig einordnen lassen und bestätigt so eine hohe Anwendbarkeit des entwickelten Modells. Darüber hinaus wird allerdings auch deutlich, dass vor allem Unternehmen auf dem Industriegütermarkt mehr als eine Strategie der Individualisierung verfolgen und vor der Herausforderung der Formulierung der eigenen strategischen Ausrichtung stehen.

Auf Basis der durchgeführten Strukturierung der produzierenden Industrie sowie der existierenden Strategien der Produktindividualisierung und der Entwicklung eines geeigneten Modells wird abschließend eine Bewertung des Ansatzes der Industrie 4.0 vorgenommen. Dazu wird der in vorhandenen Veröffentlichungen vorliegende Zusammenhang herausgestellt. Für eine darauf aufbauende, detaillierte Betrachtung gilt es entsprechend, den Begriff der Industrie 4.0 in konkrete Anwendungen zu untergliedern. Eine Betrachtung einzelner Technologien ist in diesem Kontext allerdings nicht sinnvoll. Die Plattform Industrie 4.0 stellt jedoch ein Spektrum von neun

Anwendungsszenarien bereit, die Umsetzungsmöglichkeiten und Nutzenversprechen der Industrie 4.0 entlang der Wertschöpfungskette abbilden. Insgesamt zeigt sich dabei, dass Industrie 4.0 einen durchaus positiven Einfluss auf die Individualisierung von Produkten hat. Allerdings kommen dabei nicht alle Ansätze der Industrie 4.0 zum Tragen. Es kristallisieren sich Anwendungsszenarien wie die Auftragsgesteuerte Produktion (AGP) heraus, die als Befähiger der Produktindividualisierung bezeichnet werden können. Andere Anwendungsszenarien wie die Value Based Services (VBS) wiederum haben keinerlei Einfluss. Auch zeigt sich, dass sich die Wirkung auf die verschiedenen Strategien deutlich unterscheidet. Dementsprechend kann keine pauschale Aussage über den Einfluss von Industrie 4.0 auf die Produktindividualisierung getroffen werden. Die Verknüpfung der Schlagworte Industrie 4.0, kundenindividuelle Produkte und Losgröße 1 ist kritisch zu sehen.

Die vorliegende Arbeit schafft es, grundsätzliche Strukturen und Potentiale aufzuzeigen. Aussagen über zukünftige Veränderungen werden allerdings nicht getroffen. Demzufolge ergibt sich vor allem hier anknüpfender Forschungsbedarf. Die Arbeit stellt zahlreiche valide Thesen aus dem Bereich der Produktindividualisierung bereit. Diese bieten eine gute Grundlage für die Durchführung einer Delphi-Studie. Dabei werden verschiedene Experten auf Basis eines Thesenkatalogs befragt und Aussagen über zukünftige Ereignisse und Entwicklungen getroffen. Dies kann zum einen dabei unterstützen, das Thema der Produktindividualisierung besser zu durchdringen. Zum anderen zeigen die Ergebnisse einer solchen Delphi-Studie auch, an welcher Stelle strategische Entscheidungen notwendig sind und bieten somit einen Anhaltspunkt für die zukünftige strategische Ausrichtung im Bereich der Produktindividualisierung.

Ein möglicher weiterer Ansatz besteht in der Abschätzung zukünftiger Marktgrößen im Bereich der Produktindividualisierung. Dazu kann die produzierende Industrie auf Basis der verschiedenen Strategien der Produktindividualisierung segmentiert werden. Anschließend können die Marktgrößen der definierten Segmente ermittelt und zukünftige Verschiebungen zwischen diesen Segmenten prognostiziert und bewertet werden. So kann ein Überblick über zukünftige Veränderungen und die Bedeutung von Produktindividualisierung geschaffen werden. Für eine entsprechende Abschätzung gilt es allerdings zunächst eine geeignete Methodik zu finden.

Darüber hinaus zeigt die Arbeit, dass vor allem im Bereich der Strategie der Produktanpassung noch Forschungsbedarf herrscht. Im Gegensatz zu den anderen Strategien der Produktindividualisierung, die durchaus sehr

fokussiert sind, ist diese Strategie aus technischer Sicht sehr breit aufgestellt und bisher wenig detailliert. Klare Vorgehensweisen wie bei den Strategien der vorgedachten Individualisierung sowie der Neuproduktentwicklung vorliegen, fehlen hier. Es existieren zudem große Potentiale, den Prozess der Produktanpassung zu automatisieren, zu beschleunigen und insgesamt zu optimieren.

8 Summary and outlook

For several decades there has been an increasing trend in the demand for individualized products. In the context of the fourth industrial revolution, which is propagated under the term Industry 4.0, the topic product individualization gains more in importance. However, existing connections are pointed out only insufficiently. Detailed considerations are missing. Furthermore, the impression arises that product individualization in the context of Industry 4.0 is only a buzzword used to propagate a value proposition. However, the exact meaning remains unclear.

A closer look reveals that the manufacturing industry is characterized by a strong heterogeneity. The need for a differentiated investigation becomes clear. In the consumer goods market, the increasing trend towards product individualization is often summarized under the term mass customization, which is subject to inflationary use. However, this only affects part of the manufacturing industry. Product individualization also plays an important role in the industrial goods market. The emotional demand for individualized products in the consumer goods market is countered by the functional need for product individualization in the industrial goods market. Both customer needs have to be met under the premise of economic efficiency.

There is no uniform understanding of the term individualization. Although numerous scientific papers already deal with the subject area of product individualization, there is a lack of appropriate structuring in many areas. Often product individualization is only considered from a certain view and other subareas are neglected. In addition, existing models are often very general and lack sufficient applicability.

An essential aspect of the research work is therefore the iterative development of a model that is able to give a systematic overview of the existing strategies of individualization. The basis for the model development is the Design Science approach. The underlying consideration of the initial situation and the existing knowledge base can ensure the scientific foundation and also the completeness of the model. The inclusion of concrete case studies also ensures a corresponding practical relevance to the observation domain of the manufacturing industry.

Result is a two-dimensional model that maps the various strategies of product individualization and relates them to the various stages of concretization of a product along the value creation process. The model has the aspiration to give a clear description for product individualization in

the manufacturing industry from a strategic perspective. At the same time, the model separates the different existing strategies of product individualization from each other and presents them along the value creation process. This ensures that the differentiation of the individual strategies takes place at a level of detail that enables a clear assignment of case studies despite the claim for universality and at the same time provides sufficient information about the underlying motivation and the goal of the strategy.

Various case studies from the consumer goods and industrial goods markets are used to validate the model. Since product individualization in the consumer goods market in particular is strongly brought to the fore in the public debate, numerous case studies have been published in detail. However, since the procedures in the industrial goods market are much less transparent, expert interviews are conducted to identify various individualization strategies and apply them to the model. The validation shows that all considered case studies can be clearly classified and thus confirms a high applicability of the developed model. It also becomes clear, however, that companies in the industrial goods market in particular are pursuing more than just a strategy of individualization and are facing the challenge of formulating their own strategic orientation.

Finally, an evaluation of the industry's approach 4.0 is carried out on the basis of the structuring of the manufacturing industry and the existing strategies of product individualization and the development of a suitable model. The context found in existing publications is highlighted for this purpose. For a detailed consideration based on this, the concept of Industry 4.0 must be subdivided into concrete applications. However, it does not make sense to look at individual technologies in this context. However, the "Plattform Industrie 4.0" provides a spectrum of nine application scenarios that map possible implementation options and benefit promises of Industry 4.0 along the value chain. Overall, this shows that by all means Industry 4.0 has a positive influence on the individualization of products. However, not all Industry 4.0 approaches have an impact. Application scenarios such as order-controlled production (AGP) are emerging, which can be described as enabling product individualization. Other application scenarios such as value bases services (VBS) have no influence whatsoever. It also shows that I differ massively in the effect on the various strategies. Accordingly, no general statement can be made about the influence of Industry 4.0 on product individualization and the linking of the keywords Industry 4.0, customer-specific products and lot size 1 is critical.

The thesis succeeds in pointing out basic structures and potentials, however, statements about future changes are not made. As a result, there is a particular need for research in this area. It provides numerous valid theses from the field of product individualization. These provide a good basis for conducting a Delphi study. Various experts are interviewed on the basis of a catalogue of topics and statements about future events and developments are made. On the one hand, this can help to better penetrate the topic of product individualization. On the other hand, the results of such a Delphi study also show where strategic decisions are necessary and provide an indication for future strategic orientation in the area of product individualization.

A possible further approach is the estimation of future market sizes in the area of product individualization. To this end, the manufacturing industry can be segmented on the basis of the various strategies of product individualization. The market sizes of the defined segments can then be determined and future shifts between these segments can be forecast and evaluated. This provides an overview of future changes and the importance of product individualization. However, for a corresponding estimate a suitable methodology must be found first.

Furthermore, this thesis shows that there is still a need for research, especially for the strategy of product adaptation. In contrast to the other strategies of product individualization, which are very focused, this strategy is technically very broadly positioned and, above all, so far not very detailed. There is a lack of clear procedures like for the strategies of planned individualization and new product development. There is also great potential to automate, accelerate and optimize the process of product adaptation.

Anhang

Im Nachfolgenden sind in Tabelle 21 bis einschließlich Tabelle 28 die Ergebnisse zu den im Rahmen der Validierung durchgeführten Experteninterviews (vergleiche Kapitel 5.2.1) im Detail dargestellt. Dabei wird zunächst jeweils in tabellarischer Form eine Charakterisierung von Unternehmen und Interviewpartner gegeben sowie noch einmal die Einordnung in das Produktindividualisierungsstrategiemodell vorgenommen (siehe Tabelle 21-28).

Tabelle 21: Dokumentation Experteninterview 1

Charakterisierung	Branche	Maschinenbau
	Güterkategorie	Vorleistungsgüter
	Produkt	Elektrische Fahrzeugantriebe
	Interviewpartner	Geschäftsführer
	Auftragsformen	Einzelaufträge, Rahmenaufträge
	Individualisierungsanteil	100 Prozent
Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	Produktanpassung
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	Funktionen

Tabelle 22: Dokumentation Experteninterview 2

Charakterisierung	Branche	Metallerzeugung und -bearbeitung
	Güterkategorie	Vorleistungsgüter
	Produkt	Kugellager
	Interviewpartner	Bereichsleiter
	Auftragsformen	Einzelaufträge, Rahmenaufträge
	Individualisierungsanteil	70 Prozent

Fortsetzung Tabelle 22

Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	1. Produktanpassung 2. veredelbare Produkte
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	1. Produktgestalt 2. Endbearbeitungsinformationen

Tabelle 23: Dokumentation Experteninterview 3

Charakterisierung	Branche	Maschinenbau
	Güterkategorie	Investitionsgüter
	Produkt	Industrieroboter
	Interviewpartner	Produktmanager
	Auftragsformen	Einzelaufträge
	Individualisierungsanteil	100 Prozent
Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	konfigurierbare Produkte
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	Montageinformationen

Tabelle 24: Dokumentation Experteninterview 4

Charakterisierung	Branche	Maschinenbau
	Güterkategorie	Investitionsgüter
	Produkt	Lüftungssysteme
	Interviewpartner	Vetriebsleiter
	Auftragsformen	Vorwiegend Rahmenaufträge
	Individualisierungsanteil	75 Prozent
Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	Produktanpassung
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	physische Funktionsträger, Produktgestalt

Tabelle 25: Dokumentation Experteninterview 5

Charakterisierung	Branche	Maschinenbau
	Güterkategorie	Investitionsgüter
	Produkt	Schraubsysteme
	Interviewpartner	Assistenz der Geschäftsführung
	Auftragsformen	Einzelaufträge
	Individualisierungsanteil	40 Prozent
Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	Produktanpassung
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	physische Funktionsträger, Produktgestalt

Tabelle 26: Dokumentation Experteninterview 6

Charakterisierung	Branche	Maschinenbau
	Güterkategorie	Investitionsgüter
	Produkt	Schaltschränke
	Interviewpartner	System Consultant
	Auftragsformen	Einzelaufträge, Rahmenaufträge
	Individualisierungsanteil	100 Prozent
Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	1. Produktanpassung 2. Baukastenprodukte
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	1. Produktgestalt 2. Montageinformationen

Tabelle 27: Dokumentation Experteninterview 7

Charakterisierung	Branche	Metallerzeugung/ -bearbeitung
	Güterkategorie	Vorleistungsgüter
	Produkt	Linearführungen
	Interviewpartner	Vertriebsmitarbeiter
	Auftragsformen	Einzelaufträge
	Individualisierungsanteil	20-30 Prozent

Fortsetzung Tabelle 27

Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	1. Neuproduktentwicklung 2. Produktanpassung
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	1. Anforderungen 2. Funktionen, physische Funktionsträger, Produktgestalt

Tabelle 28: Dokumentation Experteninterview 8

Charakterisierung	Branche	Maschinenbau
	Güterkategorie	Vorleistungsgüter, Investitionsgüter
	Produkt	Großantriebe
	Interviewpartner	Produktmanager
	Auftragsformen	Rahmenaufträge
	Individualisierungsanteil	30 Prozent
Einordnung	Verfolgte Strategie(n) der Individualisierung	1. Produktanpassung 2. konfigurierbare Produkte
	Kundeninteraktionspunkt(e) in der Wertschöpfungskette	1. physische Funktionsträger, Produktgestalt 2. Montageinformationen

Literaturverzeichnis

- [1] LANZ, M. und R. TUOKKO. Concepts, methods and tools for individualized production [online]. *Production Engineering*, 2007, (2), 1-8. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11740-017-0728-5
- [2] BOGNER, E., U. LÖWEN und J. FRANKE. Bedeutung der zukünftigen Produktion kundenindividueller Produkte in Losgröße 1. In: T. REDLICH, M. MORITZ und J.P. WULFSBERG, Hg. *Interdisziplinäre Perspektiven zur Zukunft der Wertschöpfung*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018, S. 63-75. ISBN 978-3-658-20265-1
- [3] GREGOR, S. und A.R. HEVNER. Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact [online]. *MIS Quarterly*, 2013, 37(2), 337-355. Verfügbar unter: doi:10.25300/MISQ/2013/37.2.01
- [4] VAISHNAVI, V. und B. KUECHLER. *Design Science Research in Information Systems* [online], 2004 [Zugriff am: 27. März 2018]. Verfügbar unter: <http://desrist.org/desrist/content/design-science-research-in-information-systems.pdf>
- [5] PELZL, N. *Methodische Entwicklung von zukunftsorientierten Geschäftsmodellen im Cloud-Computing*. Dissertation der Universität Stuttgart. Lohmar: Eul, 2016. ISBN 9783844104660
- [6] BRUHN, M. *Relationship Marketing. Das Management von Kundenbeziehungen*. 5. Auflage. München: Vahlen, 2016. ISBN 9783800651832
- [7] WÖHE, G., U. DÖRING und G. BRÖSEL. *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 26., überarbeitete und aktualisierte Auflage, 2016. Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. ISBN 3-8006-5000-2
- [8] MATTMÜLLER, R. *Integrativ-Prozessuales Marketing. Eine Einführung*. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2012. Lehrbuch. ISBN 3834944696
- [9] LINGNAU, V. *Variantenmanagement. Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie*. Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 1994. Berlin: Schmidt, 1994. Betriebswirtschaftliche Studien. 58. ISBN 3503036199

- [10] KOREN, Y. *The Global Manufacturing Revolution. Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*. New York, NY: Wiley, J, 2010. Wiley Series in Systems Engineering and Management. 1. ISBN 9780470583777
- [11] LÖTTERS, C. *Grundlagen des Marketing*. Köln: Fortis, 1998. ISBN 9783933430250
- [12] BECK, U. *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1986. ISBN 978-3518113653
- [13] EWINGER, D., A. TERNÈS, J. KOERBEL und I. TOWERS. *Arbeitswelt im Zeitalter der Individualisierung*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016. essentials. ISBN 9783658127527
- [14] MAJER, I. Mass Customization. Integration von Mass Customization und Marke. In: B. GAISER, R. LINXWEILER und V. BRUCKER, Hg. *Praxisorientierte Markenführung. Neue Strategien, innovative Instrumente und aktuelle Fallstudien*. Wiesbaden: Gabler, 2005, S. 427-442. ISBN 978-3-663-07856-2
- [15] RIEKHOF, H.-C. *Retail Business. Perspektiven, Strategien, Erfolgsmuster*. 3. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2013. ISBN 978-3-8349-4554-9
- [16] INITIATIVE D21. *Anteil der Internetnutzer in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2018* [online], n.d. [Zugriff am: 5. Januar 2019]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36146/umfrage/anzahl-der-internetnutzer-in-deutschland-seit-1997/>
- [17] MÜNCH, R. *Dialektik der Kommunikationsgesellschaft*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1991. 880. ISBN 9783518284803
- [18] ULLRICH, S. *Internetbasierte Internationalisierung. Entscheidungsfindung, Umsetzung und Erfolgsmessung*. Wiesbaden: Gabler, 2011. ISBN 9783834926494
- [19] TERNÈS, A., I. TOWERS und M. JERUSEL. *Konsumentenverhalten im Zeitalter der Mass Customization. Trends: Individualisierung und Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. ISBN 9783658098452
- [20] SEJA, C. und J. NARTEN. *Creative Communities. Ein Erfolgsinstrument für Innovationen und Kundenbindung*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017. ISBN 9783658148171

- [21] REICHWALD, R., F. PILLER, C. IHL und S. SEIFERT. *Interaktive Wertschöpfung. Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2009. ISBN 9783834909725
- [22] PILLER, F.T. *Kundenindividuelle Massenproduktion. Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft*. München: Hanser, 1998. ISBN 3446193367
- [23] REICHWALD, R. und F.T. PILLER. Der Kunde als Wertschöpfungspartner. Formen und Prinzipien. In: G. SCHRÖDER, Hg. *Wertschöpfungsmanagement als Kernkompetenz. Festschrift für Horst Wildemann*. Wiesbaden: Gabler, 2002, S. 27-51. ISBN 3-409-11927-2
- [24] PINE, B.J. *Mass customization. The new frontier in business competition*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1993. ISBN 0875843727
- [25] PILLER, F.T. *Mass customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Dissertation der Universität Würzburg. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2000. ISBN 3824471566
- [26] TOFFLER, A. *The Third Wave*. Toronto: Bantam Books, 1980. ISBN 9780553246988
- [27] DAVIS, S.M. *Future perfect*. Reading: Addison-Wesley, 1987. ISBN 978-0201115130
- [28] PILLER, F.T. Mass Customization [online]. Reflections on the State of the Concept. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2004, **16**(4), 313-334. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10696-005-5170-x
- [29] PILLER, F. und M. MÜLLER. Mass Customization und Kundenintegration. Neue Wege zu konsequenter und effizienter Kundengewinnung. *IM Information Management & Consulting*, 2003, **18**(10), 54-61
- [30] MOSER, K. *Mass customization strategies. Development of a competence-based framework for identifying different mass customization strategies*. Morrisville, USA: Lulu, 2007. ISBN 1430309326

- [31] CLIFTON, L. Die Fabrik der Zukunft. Individuelle Massenfertigung, 2018 [Zugriff am: 2. Januar 2019]. Verfügbar unter: <https://www.siemens.com/customer-magazine/de/home/industrie/fertigungsindustrie/die-fabrik-der-zukunft.html>
- [32] NETIGATE. *Individuumass Me!* [online]. *Die Umfrage des Mehrwerts von MTP zum Thema Mass Customization*, 2014 [Zugriff am: 11. Dezember 2017]. Verfügbar unter: <https://www.netigate.net/de/befragungen/individuumass-me-die-umfrage-des-mehrwerts-von-mtp-zum-thema-mass-customization/>
- [33] BLOECH, J. Produktionsfaktoren. In: W. WITTMANN, W. KERN, R. KÖHLER und H.-U. KÜPPER, Hg. *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993, S. 3405-3415. ISBN 3791080334
- [34] O.V. Produktionstechnik. In: *Gabler Wirtschaftslexikon*. 18. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014, S. 2502-2503. ISBN 9783834934642
- [35] DYCKHOFF, H., CLERMONT, M., RASSENHÖVEL, S. Industrielle Dienstleistungsproduktion. In: H. CORSTEN und H. MISSBAUER, Hg. *Produktions- und Logistikmanagement*. München: Vahlen, 2007, S. 3-22. ISBN 978-3-8006-3438-5
- [36] GUTENBERG, E. *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*. 24., unveränderte Aufl. Berlin: Springer, 1983. Enzyklopädie der Rechts- und Staatswissenschaft. Abteilung Staatswissenschaft. ISBN 9780387056944
- [37] MALERI, R. und U. FRIETZSCHE. *Grundlagen der Dienstleistungsproduktion*. 5. Auflage. Berlin u.a.: Springer, 2008. ISBN 3-540-74058-9
- [38] VARGO, S.L. und R.F. LUSCH. From goods to service(s) : Divergences and convergences of logics [online]. *Industrial Marketing Management*, 2008, 37(3), 254-259. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.indmarman.2007.07.004
- [39] BRÄUTIGAM, L.-P. *Kostenverhalten bei Variantenproduktion*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2004. ISBN 382448109X
- [40] CLEMENT, R. und D. SCHREIBER. *Internet-Ökonomie*. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. ISBN 3662490463

- [41] AURICH, J.C. und M.H. CLEMENT. *Produkt-Service Systeme. Gestaltung und Realisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. ISBN 3642014070
- [42] GUDEHUS, T. *Dynamische Märkte. Grundlagen und Anwendungen der analytischen Ökonomie*. 2. Auflage. Berlin: Springer Gabler, 2015. ISBN 9783662467824
- [43] LIHOTZKY, N. *Kundenbindung im Internet. Maßnahmen und Erfolgswirksamkeit im Business-to-Consumer-Bereich*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2003. ISBN 9783824477722
- [44] KREUTZER, R., A. RUMLER und B. WILLE-BAUMKAUFF. *B2B-Online-Marketing und Social Media. Ein Praxisleitfaden*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. ISBN 978-3-658-04695-8
- [45] O.V. Business-to-Consumer-Markt. In: *Gabler Wirtschaftslexikon*. 18. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014, S. 572. ISBN 9783834934642
- [46] GRIESE, K.-M. und S. BRÖRING. *Marketing-Grundlagen. Eine fallstudienbasierte Einführung*. Wiesbaden: Gabler, 2011. ISBN 978-3-8349-2717-0
- [47] HOMBURG, C. *Marketingmanagement. Strategie-Instrumente-Umsetzung-Unternehmensführung*. 6. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2017. ISBN 978-3-658-13655-0
- [48] KLEINALTENKAMP, M. Einführung in das Business-to-Business-Marketing. In: M. KLEINALTENKAMP und W. PLINKE, Hg. *Technischer Vertrieb. Grundlagen des Business-to-Business Marketing*. 2. Auflage. Berlin: Springer, 2000, S. 168-247. ISBN 3540641742
- [49] BACKHAUS, K. und M. VOETH, Hg. *Handbuch Business-to-Business-Marketing. Grundlagen, Geschäftsmodelle, Instrumente des Industriegütermarketing*. 2., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. ISBN 978-3-8349-4681-2
- [50] BECKER, J., W. PROBANDT und O. VERING. *Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. Konzeption und Praxisbeispiel für ein effizientes Prozessmanagement*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. ISBN 3642304125
- [51] LINK, J. *Customer Relationship Management. Erfolgreiche Kundenbeziehungen durch integrierte Informationssysteme*. Berlin: Springer, 2012. ISBN 9783642627002

- [52] MEFFERT, H., C. BURMANN und M. KIRCHGEORG. *Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. Konzepte-Instrumente-Praxisbeispiele*. 12. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. ISBN 978-3-658-02344-7
- [53] VOGEL, K. *Produktmanagement für Konsumgüter: Books on Demand*, 2002. ISBN 3831142920
- [54] KOTLER, P., G. ARMSTRONG, J.A. SAUNDERS und V. WONG. *Grundlagen des Marketing*. 4. Auflage. München: Pearson Studium, 2007. ISBN 9783827371768
- [55] OTTESON, S.F., W.G. PANSCHAR und J.M. PATTERSON. *Marketing. The firm's viewpoint*. New York: Collier-Macmillan Ltd, 1964. ISBN 978-0023899805
- [56] MEFFERT, H. *Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung: Konzepte, Instrumente, Praxisbeispiele*. 13. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2018. ISBN 978-3658211950
- [57] HOLTON, R.H. The Distinction between Convenience Goods, Shopping Goods, and Specialty Goods [online]. *Journal of Marketing*, 1958, 23(1), 53-56. Verfügbar unter: doi:10.1177/002224295802300108
- [58] STATISTISCHES BUNDESAMT, Hg. *Statistisches Jahrbuch. Deutschland und Internationales 2016*. Wiesbaden, 2016. ISBN 978-3-8246-1049-5
- [59] OSTERMANN, R. *Basiswissen internes Rechnungswesen. Eine Einführung in die Kosten- und Leistungsrechnung*. 2. Auflage. Herdecke: W3L, 2010. ISBN 978-3868340228
- [60] ENGELHARDT, W.H. und B. GÜNTER. *Investitionsgüter-Marketing. Anlagen, Einzelaggregate, Teile, Roh- und Einsatzstoffe, Energieträger*. Stuttgart: Kohlhammer, 1981. ISBN 3-17-007323-0
- [61] LARGE, R. *Strategisches Beschaffungsmanagement. Eine praxisorientierte Einführung mit Fallstudien*. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2009. ISBN 978-3-8349-0811-7
- [62] COPELAND, M.T. *Principles of merchandising*. Chicago: A.W. Shaw Company, 1924
- [63] HILDEBRAND, V.G. *Individualisierung als strategische Option der Marktbearbeitung*. Wiesbaden: DUV, 1997. Gabler Edition Wissenschaft. Forschung Marketing. ISBN 9783824466306

- [64] SCHNÄBELE, P. *Mass Customized Marketing. Effiziente Individualisierung von Vermarktungsobjekten und -prozessen*. Dissertation der Universität Bamberg. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1997. ISBN 3824466449
- [65] MCGEE, P. Brands push into personalised packaging [online]. Consumer goods companies seek to emulate Coca-Cola's 'Share A Coke' campaign. *Financial Times*, 14. Juni 2016. Verfügbar unter: <https://www.ft.com/content/of39a94a-2e49-11e6-a18d-a96ab29e3c95>
- [66] CANON. *Think Personal. Die Rolle der Personalisierung auf dem heutigen globalen Print-Markt*, 2016
- [67] SIEVERS, M. *Consumer Barometer. Trends und Treiber im Sektor Consumer Markets*. Thema: Produktindividualisierung. Hamburg, 2017
- [68] SCHNEIDER, P. *Produktindividualisierung als Marketing-Ansatz*. Dissertation der Universität St. Gallen. Schesslitz: Rosch-Buch, 1998
- [69] BAUMBERGER, G.C. *Methoden zur kundenspezifischen Produktdefinition bei individualisierten Produkten*. München: Verlag Dr. Hut, 2007. ISBN 3899636600
- [70] VIEHMANN, S. Hauptsache anders [online]. *Stern*, 25. Juli 2009 [Zugriff am: 15. Dezember 2017]. Verfügbar unter: <https://www.stern.de/auto/fahrberichte/individualisierung-hauptsache-anders-3807734.html>
- [71] FENECH, C. und B. PERKINS. *The Deloitte Consumer Review. Made-to-order: The rise of mass personalisation*. London, 2015
- [72] DPA. Das Geschäft mit individuellen Produkten [online]. Mach es selbst! *WirtschaftsWoche*, 15. August 2014 [Zugriff am: 19. Dezember 2017]. Verfügbar unter: <http://www.wiwo.de/unternehmen/handel/mach-es-selbst-das-geschaefft-mit-individuellen-produkten/10337038.html>
- [73] EGOO. *Produkte nach deinen Wünschen!* [online]. *Gestalte Produkte nach deinen Vorstellungen und deinem Geschmack. Mit deinen Fotos, Farben und exakt nach deiner Größe*. [Zugriff am: 19. Dezember 2017]

- [74] HÄUSEL, H.-G. *Brain View. Warum Kunden kaufen.* 4. Auflage. Freiburg: Haufe, 2016. ISBN 3648065386
- [75] JACOB, F. *Produktindividualisierung. Ein Ansatz zur innovativen Leistungsgestaltung im Business-to-Business-Bereich.* Wiesbaden: Gabler, 1995. ISBN 3409137831
- [76] HAMMANN, P. Marktforschung für Investitionsgüter. In: W.H. ENGELHARDT und G. LASSMANN, Hg. *Anlagen-Marketing.* Opladen: Westdeutscher Verlag, 1977, S. 87-102. ISBN 9783531114453
- [77] KAAS, K.P. Kontraktgütermarketing als Kooperation zwischen Prinzipalen und Agenten. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 1992, **44**(10), 473-487
- [78] GÖTZ, P. *Key-Account-Management im Zuliefergeschäft. Eine theoretische und empirische Untersuchung.* Berlin: Duncker & Humblot, 1995. ISBN 9783428084326
- [79] DARKO, B. Individualisierung stellt Adidas vor große Herausforderungen [online]. Adidas Speedfactory. *WirtschaftsWoche*, 20. August 2017 [Zugriff am: 20. Dezember 2017]. Verfügbar unter: <http://www.wiwo.de/unternehmen/handel/adidas-speedfactory-individualisierung-stellt-adidas-vor-grosse-herausforderungen/20211984.html>
- [80] SCHUH, G., S. SCHÖNING, M. JUNG und J.-Y. UAM. Individualisierte Produktion [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2007, **102**(10), 630-634. ISSN 0947-0085. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.101194
- [81] PINNOW, C. und S. SCHÄFER. *Industrie 4.0 - Grundlagen und Anwendungen. Branchentreff der Berliner Wissenschaft und Industrie.* Berlin: Beuth, 2015. ISBN 3410257802
- [82] ROTH, A. *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis.* Berlin: Springer Gabler, 2016. ISBN 9783662485057
- [83] BAUERNHANSL, T. Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: T. BAUERNHANSL, Hg. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration.* Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014, S. 5-35. ISBN 3658046821

- [84] WITTMANN, W., W. KERN, R. KÖHLER und H.-U. KÜPPER, Hg. *Handwörterbuch der Betriebswirtschaft*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993. Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. Teilbd. 1. ISBN 3791080334
- [85] GAUSEMEIER, J., R. DUMITRESCU, J. JASPERNEITE, A. KÜHN und H. TRESK. *Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL*. Padeborn, 2014
- [86] WESTKÄMPER, E. und C. LÖFFLER. *Strategien der Produktion. Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis*. Berlin: Springer Vieweg, 2016. ISBN 9783662489147
- [87] FORSCHUNGSUNION WIRTSCHAFT-WISSENSCHAFT und ACATECH - DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN. *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*, 2013
- [88] KAGERMANN, H., W.-D. LUKAS und W. WAHLSTER. Industrie 4.0 – Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*, 2011, (13)
- [89] KAGERMANN, H. Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: T. BAUERNHANS, Hg. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014, S. 603-614. ISBN 3658046821
- [90] BITKOM E.V., VDMA E.V. und ZVEI E.V. *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0* [online]. *Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*, 2015 [Zugriff am: 11. Januar 2017]. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Umsetzungsstrategie-Industrie-40.html>
- [91] SCHEER, A.-W. *Industrie 4.0 – Wie sehen Produktionsprozesse im Jahr 2020 aus?* Saarbrücken: IMC, 2013
- [92] BAUERNHANS, T., J. KRÜGER, G. REINHART und G. SCHUH. *WGP-Standpunkt Industrie 4.0*. Frankfurt am Main, 2016
- [93] KÖHLER, P., B. SIX und J.S. MICHELS. Industrie 4.0: Ein Überblick. In: C. KÖHLER-SCHUTE, Hg. *Industrie 4.0: Ein praxisorientierter Ansatz*. Berlin: KS-Energy, 2015, S. 17-43. ISBN 3945622018

- [94] GEISSBAUER, R., J. VEDSO und S. SCHRAUF. *Industry 4.0: Building the digital enterprise* [online]. 2016 [Zugriff am: 1. März 2018]. Verfügbar unter: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>.
- [95] MANZEI, C. Einführung und Überblick. In: C. MANZEI, L. SCHLEUPNER und R. HEINZE, Hg. *Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. Berlin: VDE Verlag; Beuth Verlag, 2016, S. 9-16. ISBN 9783410260493
- [96] OBERMAIER, R., Hg. *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe. Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016. ISBN 9783658081652
- [97] KOCH, V., S. KUGE, R. GEISSBAUER und S. SCHRAUF. *Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution*, 2014
- [98] FAY, A. *Leitsysteme für die industrielle Produktion in Industrie 4.0. Ergebnis des Fachausschusses 6.12 "Durchgängiges Engineering von Leitsystemen"*. Hamburg, 2013
- [99] GAUSMANN, O. *Kundenindividuelle Wertschöpfungsnetze. Gestaltungsempfehlungen unter Berücksichtigung einer auftragsorientierten Produktindividualisierung*. Wiesbaden: Gabler, 2008. ISBN 9783834913395
- [100] KASPAR, C. *Individualisierung und mobile Dienste am Beispiel der Medienbranche. Ansätze zum Schaffen von Kundenmehrwert*. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2005. Göttingen: Univ.-Verl. Göttingen; Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, 2006. Göttinger Schriften zur Internetforschung. 3. ISBN 9783938616536
- [101] RAUSCHER, B. und T. HESS. *Kontextsensitive Inhaltebereitstellung: Begriffsklärung und Analysegrundlagen*, 2005
- [102] ROUBANOV, D. *Durchgehende IT gestützte Methode für eine effiziente Zusammenarbeit zwischen der interdisziplinären Produktentwicklung und Montageplanung*. Kaiserslautern: Technische Universität Kaiserslautern, 2016. ISBN 3-95974-035-2

- [103] SCHICKER, G. *Koordination und Controlling in Praxisnetzen mit Hilfe einer prozessbasierten E-Service-Logistik*. Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2007. Wiesbaden: Gabler, 2008. Gabler Edition Wissenschaft. ISBN 9783834909275
- [104] SCHACKMANN, J. *Ökonomisch vorteilhafte Individualisierung und Personalisierung. Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Informationstechnologie und des Electronic Commerce*. Hamburg: Kovač, 2003. ISBN 9783830009177
- [105] MAYER, R. *Strategien erfolgreicher Produktgestaltung. Individualisierung und Standardisierung*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag, 1993. ISBN 9783824401895
- [106] LINDEMANN, U., Hg. *Individualisierte Produkte. Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin u.a.: Springer, 2006. VDI. ISBN 3-540-25506-0
- [107] SLAMANIG, M. *Produktwechsel als Problem im Konzept der Mass Customization. Theoretische Überlegungen und empirische Befunde*. Dissertation der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt. Wiesbaden: Gabler, 2011. ISBN 9783834926463
- [108] DIETRICH, A.J. *Informationssysteme für Mass Customization*. Wiesbaden: Gabler, 2007. ISBN 978-3-8350-0838-0
- [109] COATES, J.F. Customization promises sharp competitive edge. *Research Technology Management*, 1995, (38), 6-7
- [110] PILLER, F.T. und C.M. STOTKO. *Mass Customization und Kundenintegration. Neue Wege zum innovativen Produkt*. Düsseldorf: Symposium, 2003. ISBN 3936608059
- [111] WIERICH, R. *Personalisierung und Individualisierung von Coupons. Eine empirische Untersuchung der Kundenbindungswirkung individualisierter und personalisierter Coupons*. Stuttgart: Kohlhammer, 2008. ISBN 3170203479
- [112] HAGENHOFF, S. und C. KASPAR. *Individualität und Produktindividualisierung. Kundenprofile für die Personalisierung von digitalen Produkten*. Göttingen, 2003. Arbeitsbericht / Institut für Wirtschaftsinformatik, Abteilung Wirtschaftsinformatik 2, Georg-August-Universität Göttingen. 2003,17

- [113] MULVENNA, M.D., S.S. ANAND und A.G. BÜCHNER. Personalization on the Net using Web Mining [online]. *Communication of the ACM*, 2000, **42**(8), 123-125 [Zugriff am: 7. März 2017]. Verfügbar unter: doi:10.1145/345124.34516
- [114] VESANEN, J. und M. RAULAS. Building bridges for personalization [online]. A process model for marketing. *Journal of Interactive Marketing*, 2006, **20**(1), 5-20. ISSN 10949968 [Zugriff am: 29. Dezember 2016]. Verfügbar unter: doi:10.1002/dir.20052
- [115] GAUSMANN, O. *Kundenindividuelle Wertschöpfungsnetze. Gestaltungsempfehlungen unter Berücksichtigung einer auftragsorientierten Produktindividualisierung*. Zugl.: Augsburg, Univ., Diss., 2008. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2009. ISBN 978-3-8349-1339-5
- [116] BACKHAUS, K. und M. VOETH. *Industriegütermarketing*. München: Vahlen, 2014. ISBN 380064763X
- [117] RAPS, A. *Erfolgsfaktoren der Strategieimplementierung. Konzeption, Instrumente und Fallbeispiele*. Zugl.: Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2002. 3. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2008. Gabler Edition Wissenschaft. ISBN 978-3-8349-1282-4
- [118] MINTZBERG, H. Patterns in Strategy Formation [online]. *Management Science*, 1978, **24**(9), 934-948. Verfügbar unter: doi:10.1287/mnsc.24.9.934
- [119] CHANDLER, A.D. *Strategy and structure. Chapters in the history of the industrial enterprise*. 21. Auflage. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2001. ISBN 9780262530095
- [120] PORTER, M.E. *Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten = Competitive Advantage*. 8. Auflage. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 2014. Campus Strategie. ISBN 9783593500485
- [121] DÖRRER, T. *Wissensbasierte Evaluierung zukünftiger Produktionsstrategien*. Dissertation der Technischen Universität Clausthal. Aachen: Shaker, 2000. ISBN 978-3826572678
- [122] CORSTEN, H. *Produktion als Wettbewerbsfaktor. Beiträge zur Wettbewerbs- und Produktionsstrategie. Ein Reader*. Wiesbaden: Gabler, 1995. ISBN 978-3-409-13238-1

- [123] LEHNEN, M. *Wettbewerbsstrategie und regionale Reichweite. Internationalisierung mittelständischer Maschinenbauunternehmen*. Zugl.: Köln, Univ., Diss., 2001. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2002. ISBN 3824476304
- [124] BRAßLER, A. und H. SCHNEIDER. Strategisch-taktisches Produktionsmanagement. In: H. SCHNEIDER, Hg. *Produktionsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 21-88. ISBN 3791016423
- [125] SCHREYÖGG, G. *Unternehmensstrategie. Grundfragen einer Theorie strategischer Unternehmensführung*. Berlin: de Gruyter, 1984. ISBN 3110141361
- [126] HAYES, R.H. und S.C. WHEELWRIGHT. *Restoring our competitive edge. Competing through manufacturing*. New York: Wiley, 1984. ISBN 9780471051596
- [127] KLEINALTENKAMP, M. und S. SAAB. *Technischer Vertrieb. Eine praxisorientierte Einführung in das Business-to-Business-Marketing*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. ISBN 3540795332
- [128] STIEGLITZ, N. *Strategie und Wettbewerb in konvergierenden Märkten*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2004. ISBN 3824480816
- [129] KRAMER, O. *Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe*. München: Utz Verlag, 2002. ISBN 3-8316-0211-5
- [130] BLÖCKER, A. *Branchenanalyse Entwicklungsdienstleister*. Düsseldorf, 2016
- [131] MEIßNER, H.-R. *Logistik- und Entwicklungsdienstleister in der Deutschen Automobilindustrie. Neue Herausforderungen für die Gestaltung der Arbeitsbeziehungen*. Frankfurt am Main, 2013
- [132] DIRZUS, D. *Durchgängiges Engineering in Industrie 4.0-Wertschöpfungsketten. Statusreport*. Düsseldorf, 2016
- [133] KLEINHANS, C., T. NEIDL und A. RADICS. *Automotive Entwicklungsdienstleistungen. Zukunftsstandort Deutschland*. Frankfurt am Main, 2015

- [134] SCHWERDT, D. Verrechnungsmethoden und Ökonomische Analyse. In: R. DAWID, Hg. *Verrechnungspreise. Grundlagen und Praxis*. 2. Aufl. 2016. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler, 2016, S. 163-241. ISBN 3658093773
- [135] KLEINALTENKAMP, M. *Dienstleistungsmarketing. Konzeptionen und Anwendungen*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1995. ISBN 9783170181748
- [136] KLEINALTENKAMP, M. Customer Integration - Kundenintegration als Leitbuild für das Business-to-Business-Marketing. In: M. KLEINALTENKAMP, F. JACOB und S. FLIEß, Hg. *Customer Integration. Von der der Kundenorientierung zur Kundenintegration*. Wiesbaden: Gabler, 1996, S. 13-24. ISBN 9783322825124
- [137] SÖNKE, A. und A. HERRMANN, Hg. *Handbuch Produktmanagement*. Wiesbaden: Gabler, 2007. ISBN 978-3834902689
- [138] RENNEBERG, V. *Adaptives, baukastenbasiertes Recommendersystem*. Lohmar: Eul, 2010. ISBN 3899369610
- [139] KRAUSE, D. und N. GEBHARDT. *Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien. Hohe Produktvielfalt beherrschbar entwickeln*. Berlin: Springer, 2017. ISBN 3662530392
- [140] RUPPRECHT, C. *Ein Konzept zur projektspezifischen Individualisierung von Prozessmodellen*. Dissertation der Universität Karlsruhe. Karlsruhe, 2002
- [141] LINDEMANN, U., G.C. BAUMBERGER, B. FREYER, A. GAHR, J. PONN und U. PULM. Entwicklung individualisierter Produkte. In: G. REINHART und M.F. ZÄH, Hg. *Marktchance Individualisierung*. Berlin: Springer, 2003, S. 13-30. ISBN 9783642624568
- [142] WEIBER, R. und M. KLEINALTENKAMP. *Business- und Dienstleistungsmarketing. Die Vermarktung integrativ erstellter Leistungsbündel*. Stuttgart: Kohlhammer, 2013. ISBN 9783170221031
- [143] GEPP, M. *Standardisierungsprogramme als Ansatz zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit im industriellen Anlagen-Engineering*. Dissertation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Erlangen, 2014
- [144] EVERSHEIM, W. und G. SCHUH. *Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung*. Berlin: Springer, 2005. ISBN 3540211756

- [145] ADAM, D. *Produktions-Management*. 9., überarb. Aufl. Wiesbaden: Gabler, 1998. Gabler-Lehrbuch. ISBN 9783409691178
- [146] SEEBACHER, G. *Ansätze zur Beurteilung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität*. Dissertation der Alpen-Adria Universität Klagenfurt. Berlin: Logos, 2013. Anwendungsorientierte Beiträge zum industriellen Management. 4. ISBN 9783832535353
- [147] SYDOW, J. und G. MÖLLERING. *Produktion in Netzwerken. Make, Buy & Cooperate*. 3. Auflage. München: Vahlen, 2015. ISBN 9783800650491
- [148] PILLER, F., K. MÖSLEIN und C. IHL. *Interaktive Wertschöpfung kompakt. Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung*, 2017. ISBN 978-3-658-17514-6
- [149] SCHLOTEN, P. *Mass customization als wettbewerbsstrategie in der finanzdienstleistungsbranche*. Wiesbaden: Gabler, 2008. ISBN 9783834910981
- [150] KLETTI, J. *Konzeption und Einführung von MES-Systemen. Zielorientierte Einführungsstrategie mit Wirtschaftlichkeitbetrachtungen, Fallbeispielen und Checklisten : mit 122 Bildern und 53 Tabellen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. ISBN 3540343091
- [151] SPATH, D., M. BAUMEISTER und C. DILL. Ist Flexibilität genug? [online]. Zum Management von Turbulenzen sind neue Fähigkeiten gefragt. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2001, **96**(5), 235-241. ISSN 0947-0085. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.100417
- [152] FRÄDRICH, T., J. PACHOW-FRAUENHOFER, T. FIEGE und P. NYHUIS. Aerodynamic feeding systems: an example for changeable technology [online]. *Assembly Automation*, 2011, **31**(1), 47-52. Verfügbar unter: doi:10.1108/01445151111104164
- [153] BORDOLOI, S.K., W.W. COOPER und H. MATSUO. Flexibility, adaptability, and efficiency in manufacturing systems [online]. *Production and Operations Management*, 1999, **8**(2), 133-150. Verfügbar unter: doi:10.1111/j.1937-5956.1999.tb00366.x
- [154] JACOB, H. *Industriebetriebslehre. Handbuch für Studium und Praxis*. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 1990. ISBN 9783409330367

- [155] SCHLICK, C., K. MOSER und M. SCHLENK. *Flexible Produktionskapazität innovativ managen. Handlungsempfehlungen für die flexible Gestaltung von Produktionssystemen in kleinen und mittleren Unternehmen*. Berlin: Springer, 2014. ISBN 3642398960
- [156] DÜRRSCHMIDT, S. *Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion*. Dissertation der Technischen Universität München. München: Utz, 2001. ISBN 3-8316-0023-6
- [157] NYHUIS, P., G. REINHART und E. ABELE. *Wandlungsfähige Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten*. Garbsen: Produktionstechnisches Zentrum, 2008. ISBN 9783939026969
- [158] KALUZA, B. und S. BEHRENS. *Erfolgsfaktor Flexibilität. Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*. Berlin: Schmidt, 2005. ISBN 9783503083671
- [159] LÖFFLER, C. *Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung*. Dissertation der Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost-Jetter, 2011. ISBN 978-3-939890-90-4
- [160] WIENDAHL, H.-P., J. REICHARDT und P. NYHUIS. *Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten*. München: Hanser, 2014. ISBN 3-446-43892-0
- [161] ADAM, D. *Flexible Fertigungssysteme*. Wiesbaden: Gabler, 1993. ISBN 9783409179140
- [162] SINGER, C. *Flexibilitätsmanagement zur Bewältigung von Unsicherheit in der Supply Chain*. Dissertation der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Lohmar: Eul-, 2012. Supply Chain, Logistics and Operations Management. 8. ISBN 978-3-8441-0179-9
- [163] AURICH, J.C., P. BARBIAN und C. WAGENKNECHT. Prozessmodule zur Gestaltung flexibilitätsgerechter Produktionssysteme [online]. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2003, **98**(5), 214-218. ISSN 0947-0085. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.100635
- [164] RAUCH, E. *Konzept eines wandlungsfähigen und modularen Produktionssystems für Franchising-Modelle*. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag, 2013. ISBN 3839605857

- [165] KÖTTER, W. und K. REISEN. Stabilitäts- und Flexibilitätsanforderungen an Produktionssysteme. In: W. KÖTTER, M. SCHWARZ-KOCHER und C. ZANKER, Hg. *Balanced GPS. Ganzheitliche Produktionssysteme mit stabil-flexiblen Standards und konsequenter Mitarbeiterorientierung*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016, S. 13-38. ISBN 9783658035143
- [166] HERNÁNDEZ, R. und H.-P. WIENDAHL. Die wandlungsfähige Fabrik - Grundlagen und Planungsansätze. In: B. KALUZA, T. BLECKER und S. BEHRENS, Hg. *Erfolgsfaktor Flexibilität. Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*. Berlin: Erich Schmidt, 2005, S. 203-228. ISBN 9783503083671
- [167] BLUMENAU, J.-C. *Lean planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme*. Saarbrücken: LFT, Univ, 2006. Schriftenreihe Produktionstechnik. Bd. 36. ISBN 3930429659
- [168] WESTKÄMPER, E. und E. ZAHN. *Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Das Stuttgarter Unternehmensmodell*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. ISBN 9783540218890
- [169] LANZA, G., R. MOSER und S. RUHRMANN. Wandlungstreiber global agierender Produktionsunternehmen. *wt Werkstatttechnik online*, 2012, **102**(4), 200-205
- [170] KIRCHNER, S., R. WINKLER und E. WESTKÄMPER. Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen. *wt Werkstatttechnik online*, 2003, **93**(4), 254-260
- [171] WALTL, H. und H. WILDEMAN. *Modularisierung der Produktion in der Automobilindustrie*. 2. Aufl. München: TCW Transfer-Zentrum, 2015. TCW. 30. ISBN 3941967487
- [172] REINHART, G., P. KREBS und H. SCHELLMANN. Flexibilität und Wandlungsfähigkeit - das richtige Maß finden. In: G. REINHART und M.F. ZÄH, Hg. *Münchner Kolloquium. Innovationen für die Produktion*. Produktionskongress, 2008, S. 45-55. ISBN 9783831608447
- [173] MELING, F.J. *Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik*. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2012. München: Utz, 2013. ISBN 9783831643196

- [174] HAAS, S., E. SHEEHAN, C.C. WUTTKE und M. LICKEFETT. Zukunftsfähige Produktionssysteme [online]. Berücksichtigung der Wandlungsfähigkeit im Produktentstehungsprozess. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2014, **109**(3), 133-137. ISSN 0947-0085. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.111109
- [175] BÜTTGEN, M. Erscheinungsformen der Kundenintegration und Ansätze eines Integrationsmarketings. In: B. STAUSS, Hg. *Aktuelle Forschungsfragen im Dienstleistungsmarketing*. Wiesbaden: Gabler, 2009, S. 105-132. ISBN 3834999571
- [176] BRUHN, M. und B. STAUSS. Kundenintegration im Dienstleistungsmanagement. Eine Einführung in die theoretischen und praktischen Problemstellungen. In: B. STAUSS, Hg. *Aktuelle Forschungsfragen im Dienstleistungsmarketing*. Wiesbaden: Gabler, 2009, S. 3-34. ISBN 3834999571
- [177] REICHWALD, R. und C. IHL. ROI - Neue Pfade der Wirtschaftlichkeit. In: U. LINDEMANN, Hg. *Marktnahe Produktion individualisierter Produkte. Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 582*. München: Utz, 2004, S. 3. ISBN 3831603782
- [178] JÄGER, S. *Absatzsysteme für Mass Customization. Am Beispiel individualisierter Lebensmittelprodukte*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2004. ISBN 9783824480531
- [179] HOFBAUER, G. *Customer Integration. Prinzipien der Kundenintegration zur Entwicklung neuer Produkte*. Working Paper. Ingolstadt, 2013
- [180] GEBHARDT, A. *Additive Fertigungsverfahren. Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion*. 5. Auflage. München: Hanser, 2016. ISBN 9783446445390
- [181] BLECKER, T., G. FRIEDRICH, B. KALUZA, N. ABDELKAFI und G. KREUTLER. *Information and Management Systems for Product Customization*. Boston: Springer Science + Business Media, 2005. ISBN 978-0-387-23347-5
- [182] FLIEß, S. Prozeßevidenz als Erfolgsfaktor der Kundenintegration. In: M. KLEINALTENKAMP, F. JACOB und S. FLIEß, Hg. *Customer Integration. Von der Kundenorientierung zur Kundenintegration*. Wiesbaden: Gabler, 1996, S. 91-104. ISBN 9783322825124
- [183] GOUTHIER, M.H.J. *Kundenentwicklung im Dienstleistungsbereich*. Wiesbaden: Gabler, 2003. ISBN 978-3-322-91456-9

- [184] WEIBER, R. und F. JACOB. *Informationsgewinnung im Business-to-Business-Marketing. Grundlagen der Marktforschung*. Universität Trier Forschungsberichte zum Marketing. 2. Auflage. Berlin, Trier, 2000
- [185] SCHUH, G. und M. RIESENER. *Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools*. 3. Auflage. München: Hanser, Carl, 2017. ISBN 3446452257
- [186] SCHOENEBERG, K.-P. Komplexität - Einführung in die Komplexitätsforschung und Herausforderungen für die Praxis. In: K.-P. SCHOENEBERG, Hg. *Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014, S. 13-27. ISBN 9783658012830
- [187] BLISS, C. *Integriertes Komplexitätsmanagement. Ansätze und Lösungsmöglichkeiten*. Arbeitspapier Ausgabe 115. Münster: Wissenschaftliche Gesellschaft für Marketing und Unternehmensführung, 1998
- [188] KRAUS, P.K. *Plattformstrategien - Realisierung einer varianz- und kostenoptimierten Wertschöpfung*. Dissertation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Bamberg: Meisenbach, 2005. ISBN 978-3875252262
- [189] LANG, R. *Technologiekombination durch Modularisierung*. Dissertation der Universität St. Gallen. Aachen: Shaker, 2000. ISBN 3826559231
- [190] BROSCHE, M. *Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianten-induzierten Komplexität*. Dissertation der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Hamburg: TuTech, 2014. ISBN 9783941492820
- [191] BUDDE, L. *Integriertes Komplexitätsmanagement in produzierenden Unternehmen. Ein Modell zur Bewertung von Komplexität*. Dissertation der Universität St. Gallen. St. Gallen, 2016
- [192] HEYLIGHEN, F. Building a Science of Complexity. In: H.A. FATMI, Hg. *Proceedings of the 1988 Annual Conference of the Cybernetics*, 1988, S. 1-22

- [193] THIEBES, F. und N. PLANKERT. Umgang mit Komplexität in der Produktentwicklung - Komplexitätsbeherrschung durch Variantenmanagement. In: K.-P. SCHOENEGER, Hg. *Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2014, S. 165-185. ISBN 9783658012830
- [194] WILDEMAN, H. *Komplexitätsmanagement. In Vertrieb, Beschaffung, Produkt und Produktion*. 8. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum, 2007. ISBN 9783931511302
- [195] FELDHOUSE, J. und B. GEBHARDT. *Product Lifecycle Management für die Praxis. Ein Leitfaden zur modularen Einführung, Umsetzung und Anwendung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. ISBN 9783540340089
- [196] HOOSHMAND, Y. *Transparenzerhöhung bei der Entwicklung von individualisierten Produkten in der Einzelfertigung*. Dissertation der Universität Duisburg-Essen. München: Verlag Dr. Hut, 2015. ISBN 978-3-8439-2415-3
- [197] RATHNOW, P.J. *Integriertes Variantenmanagement. Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1993. ISBN 3-525-12569-7
- [198] KÖSTER, O. *Komplexitätsmanagement in der Industrie. Kunden-nähe und Effizienz in der Leistungserstellung*. Dissertation der Universität St. Gallen. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1998. ISBN 9783824404018
- [199] KISSEL, M.P. *Mustererkennung in komplexen Produktportfolios*. Dissertation der Technischen Universität München. München, 2014
- [200] GEBHARDT, N., M. KRUSE und D. KRAUSE. Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie. In: U. LINDEMANN, Hg. *Handbuch Produktentwicklung*. München: Hanser, 2016, S. 111-149. ISBN 3446445188
- [201] SCHNEEWEISS, C. *Einführung in die Produktionswirtschaft*. 5. Auflage. Berlin: Springer, 1993. ISBN 3540569103
- [202] ERENS, F. und K. VERHULST. Architectures for product families [online]. *Computers in Industry*, 1997, **Volume** 33(2-3), 165-178. ISSN 0166-3615 [Zugriff am: 3. Februar 2017]. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0166-3615(97)00022-5

- [203] HOFER, A.P. *Management von Produktfamilien. Wettbewerbsvorteile durch Plattformen*. Dissertation der Universität St. Gallen. Wiesbaden: Gabler, 2001. ISBN 978-3-8244-7423-3
- [204] RAPP, T. *Produktstrukturierung. Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen*. Dissertation der Universität St. Gallen. Wiesbaden: Gabler, 1999. ISBN 3824470101
- [205] PAHL, G., W. BEITZ und J. FELDHUSEN. *Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung*. 7. Auflage. Berlin: Springer, 2007. ISBN 9783540340614
- [206] JOERGENSEN, K.A. Customization Design. Levels of Customisation. In: J. SUOMINEN, F. PILLER, M. RUOHONEN, T. MITCHELL und S. JACOBSON, Hg. *Mass Matching. Customization, Configuration & Creativity*. Proceedings of the 5th International Conference on Mass Customization & Personalization MCPC 2009, 2009
- [207] EHRENSPIEL, K. *Integrierte Produktentwicklung. Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion*. München: Hanser, 1995. ISBN 9783446157064
- [208] RENNER, I. *Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil*. Dissertation der Technischen Universität München. München: Hut, 2007. ISBN 9783899635676
- [209] ZAGEL, M. *Übergreifendes Konzept zur Strukturierung variantenreicher Produkte und Vorgehensweise zur iterativen Produktstruktur-Optimierung*. Dissertation der Technischen Universität Kaiserslautern. Kaiserslautern: Technische Universität Kaiserslautern, 2006. ISBN 9783939432265
- [210] BAUMGART, I.M. *Modularisierung von Produkten im Anlagenbau*. Dissertation der RWTH Aachen. Aachen: Mainz, 2005. ISBN 9783861307624
- [211] TIIHONEN, J., T. SOININEN, T. MÄNNISTÖ und R. SULONEN. State-of-the-practice in product configuration—a survey of 10 cases in the Finnish industry. In: M. MÄNTYLÄ, S. FINGER und T. TOMIYAMA, Hg. *Knowledge Intensive CAD*. New York: Springer, 1996, S. 95-114. ISBN 978-0-387-34930-5

- [212] DORLOFF, F.-D., J. LEUKEL und V. SCHMITZ. Konfigurierbare Produkte in elektronischen Produktkatalogen. In: W. DANGELMAIER, A. EMMRICH und D. KASCHULA, Hg. *Modelle im E-Business*. Paderborn: Fraunhofer ALB, 2002, S. 699-712. ISBN 978-3931466978
- [213] BRINKOP, A. *Variantenkonstruktion durch Auswertung der Abhängigkeiten zwischen den Konstruktionsbauteilen*. Dissertation der Universität Karlsruhe. Sankt Augustin: Infix, 1999. Dissertationen zur künstlichen Intelligenz. Bd. 204. ISBN 9783896012043
- [214] ROGOLL, T. und F.T. PILLER. *Konfigurationssysteme für Mass Customization und Variantenproduktion. Strategie, Erfolgsfaktoren und Technologie von Systemen zur Kundenintegration*. 2. Auflage. München: ThinkConsult, 2002
- [215] EMRICH, C. *Multi-Channel-Communications- und Marketing-Management*. Wiesbaden: Gabler, 2008. ISBN 978-3-8349-9685-5
- [216] ERKUS, B., JAKUPOVIC und K. OUESLATI. *ProjINF Konfigurator für Produktanforderungen* [online]. 2014 [Zugriff am: 14. Februar 2018]. Verfügbar unter: <https://www.informatik.uni-stuttgart.de/studium/interessierte/bsc-studiengaenge/informatik/projekt-inf/2014-06-06/gruppe4.pdf>
- [217] MAINZER, K. *Künstliche Intelligenz. Wann übernehmen die Maschinen?* Berlin: Springer, 2016. ISBN 3662484536
- [218] MESCHEDER, B. und C. SALLACH. Konfigurationsprobleme und wissensbasierte Systeme. In: B. MESCHEDER und C. SALLACH, Hg. *Wettbewerbsvorteile durch Wissen. Knowledge Management, CRM und Change Management verbinden*. Berlin: Springer, 2012, S. 61-82. ISBN 978-3-642-27896-9
- [219] LI, J. *Die Beherrschung der Variantenvielfalt im Vertriebsprozess mit Hilfe des Variantenkonfigurators am Beispiel der Implementierung der "SAP R/3 Variantenkonfiguration"*. Dissertation der Universität Mannheim. Saarbrücken: Suedwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, 2009. ISBN 3838108566
- [220] BRINKOP, A. *Marktführer Produktkonfiguration* [online], 2016. 2016 [Zugriff am: 14. Februar 2018]. Verfügbar unter: <https://brinkop-consulting.com/guide/marktfuehrer.pdf>

- [221] SAMSA-IT GMBH. *ConfyBuy* [online]. *Webshop TO-GO mit Konfigurator*. Mit künstlicher Intelligenz einfach per Knopfdruck in Excel [Zugriff am: 3. Januar 2019]. Verfügbar unter: http://www.confybuy.com/de_DE/page/homepage
- [222] WARSCHBURGER, V. und C. JOST. *Nachhaltig erfolgreiches E-Marketing. Online-Marketing als Managementaufgabe: Grundlagen und Realisierung*. Wiesbaden: Vieweg, 2001. ISBN 3528057718
- [223] SCHEER, C. *Kundenorientierter Produktkonfigurator: Erweiterung des Produktkonfiguratorkonzeptes zur Vermeidung kundeninitiiertter Prozessabbrüche bei Präferenzlosigkeit und Sonderwünschen in der Produktspezifikation*. Dissertation der Universität des Saarlandes. Berlin: Logos, 2006. ISBN 9783832513924
- [224] FRIEDRICHS, W., B. BUSCHHORN, M. JOEPEN und M. LUTZ. *Das Fitnessprogramm für KMU. Methoden für mehr Effizienz im Automobil-, Anlagen- und Sondermaschinenbau*. München: Hanser, 2018. ISBN 3446453733
- [225] JOST, C. und K. WAGNER. Das ARIS Toolset. In: A.-W. SCHEER und W. JOST, Hg. *ARIS in der Praxis. Gestaltung, Implementierung und Optimierung von Geschäftsprozessen*. Berlin: Springer, 2013, S. 15-32. ISBN 3642627595
- [226] KOHN, A. *Entwicklung einer Wissensbasis für die Arbeit mit Produktmodellen*. Dissertation der Technischen Universität München. München: Dr. Hut, 2014. ISBN 9783843918299
- [227] DUDEN. Artikel "Modell" [online]. *Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft* [Zugriff am: 16. Februar 2018]. Verfügbar unter: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Modell>
- [228] KASTENS, U. und H. KLEINE BÜNING. *Modellierung. Grundlagen und formale Methoden*. 3. Auflage. München: Hanser, 2014. ISBN 3446442464
- [229] WOLFF, F. *Ökonomie multiperspektivischer Unternehmensmodellierung. IT-Controlling für modell-basiertes Wissensmanagement*. Dissertation der Universität Duisburg-Essen. Wiesbaden: Gabler, 2008. ISBN 9783834998125
- [230] SCHÜTTE, R. *Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle*. Wiesbaden: Gabler, 1998. Neue betriebswirtschaftliche Forschung. 233. ISBN 3409128433

- [231] BECKER, J. Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung und ihre Einbettung in ein Vorgehensmodell zur Erstellung betrieblicher Informationsmodelle. *Informationssystem-Architekturen, Rundbrief des Fachausschusses 5.2 Informationssystem-Architekturen der Gesellschaft für Informatik*, 1998, 5(2), 56-62
- [232] SCHÜTTE, R. *Vergleich alternativer Ansätze zur Bewertung der Informationsmodellqualität* [online], 1998 [Zugriff am: 16. Februar 2018]. Verfügbar unter: <https://www.wi-inf.uni-duisburg-essen.de/MobisPortal/pages/rundbrief/pdf/Schu98.pdf>.
- [233] GALLER, J. *Vom Geschäftsprozeßmodell zum Workflow-Modell*. Dissertation der Universität Saarbrücken. Wiesbaden: Gabler, 1997. ISBN 3409123229
- [234] OSTGATHE, M. *System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage*. Dissertation der Technischen Universität München. München: Utz, 2012. ISBN 9783831642069
- [235] GILMORE, J.H. und B.J. PINE. The Four Faces of Mass Customization. *Harvard Business Review*, 1997, 75(1), 91-101
- [236] LAMPEL, J. und H. MINTZBERG. Customizing Customization. *Sloan Management Review*, 1996, 38(1), 21-30
- [237] RAUTENSTRAUCH, C. *Moving into mass customization. Information systems and management principles*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. ISBN 9783540436119
- [238] OLHAGER, J. The Role of Decoupling Points in Value Chain Management. In: H. JODLBAUER, Hg. *Modelling value. Selected Papers of the 1st International Conference on Value Chain Management*. Heidelberg: Springer, 2012, S. 37-48. ISBN 9783844000412
- [239] FREICHEL, S. *FIT-Modelle der Produktindividualisierung. Die Abstimmung der Produktindividualisierung auf die Bedürfnisse und Handlungsziele des Nachfragers*. Dissertation der Universität Trier. Hamburg: Kovač, 2009. ISBN 978-3-8300-4518-2
- [240] EIDENMÜLLER, B. *Die Produktion als Wettbewerbsfaktor. Das Potential der Mitarbeiter nutzen - Herausforderungen an das Produktionsmanagement*. 3. Auflage. Köln: TÜV Rheinland, 1995. ISBN 3824901811

- [241] SCHUH, G., A. GIERTH und P. SCHIEGG. Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung: Prozessarchitektur. In: G. SCHUH, Hg. *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. 3., völlig neu bearb. Aufl. Berlin: Springer, 2006, S. 81-107. ISBN 9783540403067
- [242] WIENDAHL, H.-P. *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 8. Auflage. München: Hanser, 2014. ISBN 978-3-446-44053-1
- [243] ÖSTERLE, H., J. BECKER, U. FRANK, T. HESS, D. KARAGIANNIS, H. KRCMAR, P. LOOS, P. MERTENS, A. OBERWEIS und E. SINZ. Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In: H. ÖSTERLE, R. WINTER und W. BRENNER, Hg. *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Ein Plädoyer für Rigor und Relevanz*. Nürnberg: Infowerk, 2010, S. 1-6
- [244] KUECHLER, B. und V. VAISHNAVI. Promoting Relevance in IS Research: An Informing System for Design Science Research [online]. *Informing Science: the International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 2011, (14), 125-138. Verfügbar unter: doi:10.28945/1498
- [245] TREPPER, T. *Fundierung der Konstruktion agiler Methoden. Anpassung, Instanziierung und Evaluation der Methode PiK-AS*. Dissertation der Universität Duisburg-Essen. Wiesbaden: Springer Gabler, 2015. ISBN 9783658100896
- [246] HEVNER, A. A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 2007, **19**(2)
- [247] HEVNER, A. und S. CHATTERJEE. *Design Research in Information Systems. Theory and Practice*. Heidelberg: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-5652-1
- [248] MANZEI, C., L. SCHLEUPNER und R. HEINZE, Hg. *Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. Berlin: VDE Verlag; Beuth Verlag, 2016. ISBN 9783410260493
- [249] ADOLPHS, P. und U. EPPLER. *Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Statusreport*. Düsseldorf, 2015
- [250] HEIDEL, R., M. HOFFMEISTER, M. HANKEL und U. DÖBRICH. *Industrie 4.0. Basiswissen RAMI 4.0. Referenzarchitekturmodell mit Industrie 4.0-Komponente*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017. ISBN 3800742470

- [251] FORBRIG, P. *Objektorientierte Softwareentwicklung mit UML*. München: Hanser, 2007. ISBN 3-446-40572-0
- [252] EPPLE, U. Begriffliche Grundlagen der leittechnischen Modellwelt. Teil 1: Terminologielehre, Systemmodellierung. *atp*, 2008, (4), 83-91
- [253] EPPLE, U. *Industrie 4.0 - Technical Assets. Grundlegende Begriffe, Konzepte, Lebenszyklen und Verwaltung*. Statusreport. Düsseldorf, 2015
- [254] VDI/VDE-GESELLSCHAFT MESS- UND AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. *Industrie 4.0 Statusreport: Wertschöpfungsketten*, 2014
- [255] PAHL, G. und W. BEITZ. *Konstruktionslehre. Handbuch für Studium und Praxis*. Berlin: Springer, 1977. ISBN 3662022893
- [256] Verein Deutscher Ingenieure. 2221, *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI
- [257] Verein Deutscher Ingenieure. 2222, *Konstruktionsmethodik: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien*. Düsseldorf: VDI
- [258] Verein Deutscher Ingenieure. 2210, *Datenverarbeitung in der Konstruktion: Analyse des Konstruktionsprozesses im Hinblick auf den EDV-Einsatz*. Düsseldorf: VDI
- [259] BOCHTLER, W. *Modellbasierte Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung*. Dissertation der Technischen Hochschule Aachen. Aachen: Shaker, 1996. ISBN 9783826514210
- [260] GAUSEMEIER, J., P. EBBESMEYER und F. KALLMEYER. *Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen*. München: Hanser, 2001. ISBN 9783446216310
- [261] SEIDEL, M. *Methodische Produktplanung. Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess*. Dissertation der Universität Karlsruhe. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe, 2005. Reihe Informationsmanagement im Engineering Karlsruhe. ISBN 3937300511
- [262] BENDER, K. *Embedded Systems - qualitätsorientierte Entwicklung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. ISBN 9783540229957

- [263] ZELEWSKI, S., S. HOHMANN und T. HÜGENS. *Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme. Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP R/3*. München: Oldenbourg, 2008. ISBN 9783486587227
- [264] KÜHNLE, H. *Produktionsmengen- und -terminplanung bei mehrstufiger Linienfertigung*. Dissertation der Universität Stuttgart. Berlin: Springer, 1987. ISBN 3-540-18038-9
- [265] PONN, J. und U. LINDEMANN. *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen*. 2. Auflage. Berlin: Springer, 2011. ISBN 3642205798
- [266] MÖHRLE, M., J. MÜLLER und C. EMMELMANN. Industrialisierungsstudie Additive Fertigung – Herausforderungen und Ansätze [online]. *RTeJournal - Fachforum für Rapid Technologie*, 2017, **14**. Verfügbar unter: <https://www.rtejournal.de/ausgabe-14-2017/4493>
- [267] Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 8580, *Fertigungsverfahren - Begriffe und Einteilung*. Berlin: Beuth
- [268] HEVNER, A.R., S.T. MARCH, J. PARK und S. RAM. Design Science in Information Systems Research [online]. *MIS Quarterly*, 2004, **28**(1), 75-105. Verfügbar unter: doi:10.2307/25148625
- [269] COSTA, E., A.L. SOARES und J.P. de SOUSA. Situating Case Studies Within the Design Science Research Paradigm. An Instantiation for Collaborative Networks. In: H. AFSARMANESH, L.M. CAMARINHA-MATOS und A. LUCAS SOARES, Hg. *Collaboration in a Hyperconnected World. PRO-VE 2016*. Cham: Springer International Publishing, 2016. ISBN 9783319453897
- [270] POPPE, R. *Kooperationsplattformen für das Supply Chain Management. Gestaltungsempfehlungen für die kooperative Koordination der Supply Chain*. Wiesbaden: Gabler, 2017. ISBN 9783658163686
- [271] ZIMMERMANN, S. *Der Umgang mit Schatten-IT in Unternehmen. Eine Methode zum Management intransparenter Informationstechnologie*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018. ISBN 9783658207861
- [272] EISENHARDT, K.M. und M.E. GRAEBENER. Theory Building from Cases [online]. Opportunities and Challenges. *Academy of Management Journal*, 2007, **50**(1), 25-32. Verfügbar unter: doi:10.5465/amj.2007.24160888

- [273] GÖTHLICH, S.E. *Fallstudien als Forschungsmethode. Plädoyer für einen Methodenpluralismus in der deutschen betriebswirtschaftlichen Forschung*. Kiel, 2003
- [274] GÖBEL, F. Case Study Approach. In: M. SCHWAIGER und A. MEYER, Hg. *Theorien und Methoden der Betriebswirtschaft*. München: Vahlen, 2009, S. 359-376. ISBN 978-3800636136
- [275] YIN, R.K. *Case Study Research. Design and Methods*. 5. Auflage. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2013. ISBN 978-1452242569
- [276] YIN, R.K. The Case Study as a Serious Research Strategy [online]. *Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization*, 1981, (3), 97-114. Verfügbar unter: doi:10.1177/107554708100300106
- [277] EISENHARDT, K.M. Building Theories from Case Study Research [online]. *The Academy of Management Review*, 1989, 14(4), 532-550. Verfügbar unter: doi:10.2307/258557
- [278] SCHMIDT, L.H. *Technologie als Prozess. Eine empirische Untersuchung organisatorischer Technologiegestaltung am Beispiel von Unternehmenssoftware*. Dissertation der Freien Universität Berlin. Berlin, 2006
- [279] CHOCRI. *Individuelle Schokolade* [online] [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <https://www.chocri.de/schokolade-selber-machen.html>
- [280] MÜHLKE, S. Die Schokoladenseite [online]. *TAZ*, 29. Oktober 2010 [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <http://www.taz.de/!367211/>
- [281] MYMUESLI. *Mixer* [online] [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <https://www.mymuesli.com/mixer/>
- [282] BRANDTRUST. *mymuesli: Eine Marke, die mit gekonntem Storytelling die Müsli-Welt veränderte. Best Practice Case: mymuesli*. Nürnberg, 2017
- [283] ADIDAS. *adidas Futurecraft 4D: Ein Schuh aus Licht und Luft* [online]. 7 April 2017 [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <https://news.adidas.com/de/Latest-News/adidas-futurecraft-4d--ein-schuh-aus-licht-und-luft/s/8626f9c4-959d-4ffd-a8c3-3901199195d7>

- [284] O.V. Adidas produziert jetzt Schuhsohlen mit dem 3D-Drucker [online]. *Manager Magazin*, 7. April 2017 [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/handel/adidas-startup-carbon-soll-sohle-fuer-futurecraft-4d-aus-3d-drucker-liefern-a-1142335.html>
- [285] KREATIV RAD MANUFAKTUR. *Der Fahrrad Konfigurator* [online]. 19 April 2018, 12:00. Verfügbar unter: <http://www.kreativ-rad.de/konfigurator>
- [286] O.V. Originelle Fahrräder sind Trend [online]. *Süddeutsche Zeitung*, 16. September 2016 [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <http://www.sueddeutsche.de/news/wirtschaft/verkehr-originelle-fahrraeder-sind-trend-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-160908-99-381065>
- [287] MEINE MÖBELMANUFAKTUR. *Konfigurator* [online] [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <https://www.meine-moebelmanufaktur.de/konfigurator-2/>
- [288] TÖNNESMANN, J. Gründlich aufgemöbelt [online]. *WirtschaftsWoche*, 29. September 2012 [Zugriff am: 19. April 2018]. Verfügbar unter: <https://www.wiwo.de/erfolg/gruender/gruenderpreis-gruendlich-aufgemoebelt/7161984.html>
- [289] HEMDWERK. *Hemd designen* [online] [Zugriff am: 19. April 2108]. Verfügbar unter: <https://www.hemdwerk.de/hemdendesigner>
- [290] TAUBER, A. Massenfertigung feiert Comeback dank Internet [online]. *Welt*, 18. Dezember 2012. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/web-welt/article112081447/Massanfertigung-feiert-Comeback-dank-Internet.html>
- [291] HP PRODUKT-KONFIGURATOR [Zugriff am: 23. April 2018]. Verfügbar unter: <http://store.hp.com/GermanyStore/Merch/Offer.aspx?p=b-produktkonfigurator>
- [292] DIGITALER MITTELSTAND. *Laptop selbst konfigurieren: 4 Anbieter im Vergleich* [online] [Zugriff am: 23. April 2018]. Verfügbar unter: <https://digitaler-mittelstand.de/technologie/ratgeber/laptop-selbst-zusammenstellen-4-anbieter-im-vergleich-10291>
- [293] SHIRTINATOR. *T-Shirt selbst gestalten* [online] [Zugriff am: 23. April 2018]. Verfügbar unter: <https://www.shirtinator.de/gestalten/t-shirt-selbst-gestalten/>

- [294] O.V. Shirtinator launcht Express Service [online]. *Firmenpresse*, 19. November 2014 [Zugriff am: 23. April 2018]. Verfügbar unter: <https://www.firmenpresse.de/pressinfo1137400/shirtinator-launcht-express-service.html>
- [295] GLÄSER, J. und G. LAUDEL. *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*. 4. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010. ISBN 3531172387
- [296] MAYRING, P. *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. 12. Auflage. Weinheim: Beltz, 2010. ISBN 9783407255334
- [297] MAYRING, P. Qualitative Inhaltsanalyse. Konzepte - Methoden - Analysen. In: R. BUBER und H.H. HOLZMÜLLER, Hg. *Qualitative Marktforschung. Konzepte, Methoden, Analysen*. 2. Auflage. Wiesbaden: Gabler, 2009, S. 669-680. ISBN 3834994413
- [298] MAYRING, P. Neuere Entwicklungen in der qualitativen Forschung und der Qualitativen Inhaltsanalyse. In: P. MAYRING und M. GLÄSER-ZIKUDA, Hg. *Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse*. 2., neu ausgestattete Auflage. Weinheim: Beltz Verlag, 2008, S. 7-19. ISBN 9783407255020
- [299] DORST, W. *Industrie 4.0 - Status und Perspektiven. Studie*. Berlin, 2016
- [300] PAC – A CXP GROUP COMPANY. *PAC Innovation Register* [online] [Zugriff am: 17. November 2017]. Verfügbar unter: <https://www.pac-online.com/innovation-register-landing>
- [301] ZILCH, A. und P. SCHALLA. *PAC ordnet und beurteilt Projekte für Industrie 4.0 und Internet of Things mit neuem „Innovation Register“*. München, 29. Juli 2015
- [302] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE. *Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien. Ergebnisrapport*. Berlin, 2016
- [303] REINHART, G., K. BENGLER, C. DOLLINGER und C. INTRA. Der Mensch in der Produktion von Morgen. In: G. REINHART, Hg. *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Hanser, 2017, S. 51-88. ISBN 3-446-44642-7

- [304] DRUMM, O., A. FAY, G. GUTERMUTH, F. HASSELFELD, D. KRUMSIEK, U. LÖWEN, T. MAKAIT, A. SCHERTL, M. SCHLEIPEN und S. SCHRÖCK. *Anwendungsszenario DDA - Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen. Status-report*. Düsseldorf, 2016
- [305] BERGER, U., A. HARTMANN und D. SCHMID. *3D-Druck - additive Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. 2. Auflage. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG, 2017. Bibliothek des technischen Wissens. ISBN 3-8085-5034-1
- [306] RICHARD, H.A., B. SCHRAMM und T. ZIPSNER. *Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. ISBN 978-3-658-17780-5
- [307] ROLAND BERGER. *Additive Manufacturing - next generation (AMnx). Study*, 2016
- [308] VDMA ARBEITSGEMEINSCHAFT ADDITIVE MANUFACTURING. *Technology Scout 2017. Technologien, Anwendungen und Hersteller*. Frankfurt am Main, 2017
- [309] FELDMANN, C. und A. PUMPE. *3D-Druck – Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit. Entscheidungsunterstützung für Unternehmen*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2016. essentials. ISBN 978-3-658-15196-6

Verzeichnis promotionsbezogener, eigener Publikationen

- [P1] BOGNER, E., U. LÖWEN und J. FRANKE. Systematisierung von Wertschöpfungsketten im Hinblick auf die Produktion kundenspezifischer Produkte. In: 1. *Interdisziplinäre Konferenz zur Zukunft der Wertschöpfung. Konferenzband*. Hamburg, 2016, S. 147-158. ISBN 9783868180916
- [P2] BRANDMEIER, M., E. BOGNER, M. BROSSOG und J. FRANKE. Product Design Optimization through Knowledge Feedback of Cyber-physical Systems. *Procedia CIRP*, 2016, (50), 186-191. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2016.05.026
- [P3] BOGNER, E., C. KÄSTLE, G. BEITINGER und J. FRANKE. Elektronikproduktion. In: G. REINHART, Hg. *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Hanser, 2017, S. 653-690. ISBN 9783446446427
- [P4] BOGNER, E., J. GÖTZ, H. FLEISCHMANN und J. FRANKE. Automatisierung von Overheadprozessen. Erschließung von Effizienzpotentialen für Industrie 4.0. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2015, 110(7-8), 470-474. ISSN 0947-0085. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.111376
- [P5] BOGNER, E., U. LÖWEN und J. FRANKE. Systematic Consideration of Value Chains with Respect to the Timing of Individualization [online]. *Procedia CIRP*, 2017, (60), 368-373. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2017.01.015
- [P6] BOGNER, E., T. VOELKLEIN, O. SCHROEDEL und J. FRANKE. Study Based Analysis on the Current Digitalization Degree in the Manufacturing Industry in Germany. *Procedia CIRP*, 2016, (57), 14-19. ISSN 22128271. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.procir.2016.11.004
- [P7] BOGNER, E., N. KÖRNER und J. FRANKE. Innovative Geschäftsmodelle der Digitalisierung. Identifikation, Analyse und Klassifizierung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2016, 111(6), 368-371. ISSN 0947-0085. Verfügbar unter: doi:10.3139/104.111529
- [P8] GUTJAHR, J., E. BOGNER und M. BÄUMLER. Migration zur intelligenten Produktion. Darstellung eines Entscheidungsmodells zur Integration cyberphysischer Systeme in den Maschinen- und Anlagenbau. *Industrie Management*, 2017, 33(3), 31-34

Verzeichnis promotionsbezogener, studentischer Arbeiten*

- [S1] GERISCHER, L., E. BOGNER und J. FRANKE. *Systematische Betrachtung und kritische Analyse des Konzeptes der Mass Customization*. Masterarbeit. Erlangen, 2017
- [S2] VÖLKER, K., E. BOGNER und J. FRANKE. *Studie zur Betrachtung der wesentlichen holistischen Einflussgrößen auf Industrie 4.0*. Projektarbeit. Erlangen, 2017

* Der Autor an zweiter (und ggf. dritter) Stelle bezeichnet den bzw. die Betreuer der studentischen Arbeit und an letztgenannter Stelle den/die Lehrstuhlinhaber/in.

Reihenübersicht

Koordination der Reihe (Stand 2019):

Geschäftsstelle Maschinenbau, Dr.-Ing. Oliver Kreis, www.mb.fau.de/diss/

Im Rahmen der Reihe sind bisher die nachfolgenden Bände erschienen.

Band 1 – 52

Fertigungstechnik – Erlangen

ISSN 1431-6226

Carl Hanser Verlag, München

Band 53 – 307

Fertigungstechnik – Erlangen

ISSN 1431-6226

Meisenbach Verlag, Bamberg

ab Band 308

FAU Studien aus dem Maschinenbau

ISSN 2625-9974

FAU University Press, Erlangen

Die Zugehörigkeit zu den jeweiligen Lehrstühlen ist wie folgt gekennzeichnet:

Lehrstühle:

FAPS	Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
KTmflk	Lehrstuhl für Konstruktionstechnik
LFT	Lehrstuhl für Fertigungstechnologie
LPT	Lehrstuhl für Photonische Technologien

Band 1: Andreas Hemberger
Innovationspotentiale in der
rechnerintegrierten Produktion durch
wissensbasierte Systeme
FAPS, 208 Seiten, 107 Bilder. 1988.
ISBN 3-446-15234-2.

Band 2: Detlef Classe
Beitrag zur Steigerung der Flexibilität
automatisierter Montagesysteme
durch Sensorintegration und erweiterte
Steuerungskonzepte
FAPS, 194 Seiten, 70 Bilder. 1988.
ISBN 3-446-15529-5.

Band 3: Friedrich-Wilhelm Nolting
Projektierung von Montagesystemen
FAPS, 201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tab. 1989.
ISBN 3-446-15541-4.

Band 4: Karsten Schlüter
Nutzungsgradsteigerung von
Montagesystemen durch den Einsatz
der Simulationstechnik
FAPS, 177 Seiten, 97 Bilder. 1989.
ISBN 3-446-15542-2.

Band 5: Shir-Kuan Lin
Aufbau von Modellen zur Lageregelung
von Industrierobotern
FAPS, 168 Seiten, 46 Bilder. 1989.
ISBN 3-446-15546-5.

Band 6: Rudolf Nuss
Untersuchungen zur Bearbeitungsquali-
tät im Fertigungssystem Laserstrahl-
schneiden
LFT, 206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tab. 1989.
ISBN 3-446-15783-2.

Band 7: Wolfgang Scholz
Modell zur datenbankgestützten Planung
automatisierter Montageanlagen
FAPS, 194 Seiten, 89 Bilder. 1989.
ISBN 3-446-15825-1.

Band 8: Hans-Jürgen Wißmeier
Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhal-
tens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen
LFT, 179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tab. 1989.
ISBN 3-446-15921-5.

Band 9: Rainer Eisele
Konzeption und Wirtschaftlichkeit von
Planungssystemen in der Produktion
FAPS, 183 Seiten, 86 Bilder. 1990.
ISBN 3-446-16107-4.

Band 10: Rolf Pfeiffer
Technologisch orientierte
Montageplanung am Beispiel der
Schraubtechnik
FAPS, 216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tab. 1990.
ISBN 3-446-16161-9.

Band 11: Herbert Fischer
Verteilte Planungssysteme zur
Flexibilitätssteigerung der
rechnerintegrierten Teilefertigung
FAPS, 201 Seiten, 82 Bilder. 1990.
ISBN 3-446-16105-8.

Band 12: Gerhard Kleineidam
CAD/CAP: Rechnergestützte Montage-
feinplanung
FAPS, 203 Seiten, 107 Bilder. 1990.
ISBN 3-446-16112-0.

Band 13: Frank Vollertsen
Pulvermetallurgische Verarbeitung eines
übereutektoiden verschleißfesten Stahls
LFT, XIII u. 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tab.
1990. ISBN 3-446-16133-3.

Band 14: Stephan Biermann
Untersuchungen zur Anlagen- und
Prozeßdiagnostik für das Schneiden
mit CO₂-Hochleistungslasern
LFT, VIII u. 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tab.
1991. ISBN 3-446-16269-0.

Band 15: Uwe Geißler
Material- und Datenfluß in einer flexiblen
Blechbearbeitungszelle
LFT, 124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tab. 1991.
ISBN 3-446-16358-1.

Band 16: Frank Oswald Hake
Entwicklung eines rechnergestützten
Diagnosesystems für automatisierte
Montagezellen
FAPS, XIV u. 166 Seiten, 77 Bilder. 1991.
ISBN 3-446-16428-6.

Band 17: Herbert Reichel
Optimierung der Werkzeugbereitstellung
durch rechnergestützte
Arbeitsfolgenbestimmung
FAPS, 198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tab. 1991.
ISBN 3-446-16453-7.

Band 18: Josef Scheller
Modellierung und Einsatz von
Softwaresystemen für rechnergeführte
Montagezellen
FAPS, 198 Seiten, 65 Bilder. 1991.
ISBN 3-446-16454-5.

Band 19: Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumforme mit
elastischer Matrize
LFT, 166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tab. 1991.
ISBN 3-446-16493-6.

Band 20: Joachim Schmid
Beitrag zum automatisierten Bearbeiten
von Keramikguß mit Industrierobotern
FAPS, XIV u. 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tab.
1991. ISBN 3-446-16560-6.

Band 21: Egon Sommer
Multiprozessorsteuerung für
kooperierende Industrieroboter in
Montagezellen
FAPS, 188 Seiten, 102 Bilder. 1991.
ISBN 3-446-17062-6.

Band 22: Georg Geyer
Entwicklung problemspezifischer
Verfahrensketten in der Montage
FAPS, 192 Seiten, 112 Bilder. 1991.
ISBN 3-446-16552-5.

Band 23: Rainer Flohr
Beitrag zur optimalen
Verbindungstechnik in der
Oberflächenmontage (SMT)
FAPS, 186 Seiten, 79 Bilder. 1991.
ISBN 3-446-16568-1.

Band 24: Alfons Rief
Untersuchungen zur Verfahrensfolge
Laserstrahlschneiden und -schweißen
in der Rohkarosseriefertigung
LFT, VI u. 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tab.
1991. ISBN 3-446-16593-2.

Band 25: Christoph Thim
Rechnerunterstützte Optimierung
von Materialflußstrukturen in der
Elektronikmontage durch Simulation
FAPS, 188 Seiten, 74 Bilder. 1992.
ISBN 3-446-17118-5.

Band 26: Roland Müller
CO₂-Laserstrahlschneiden von
kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen
LFT, 141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tab. 1992.
ISBN 3-446-17104-5.

Band 27: Günther Schäfer
Integrierte Informationsverarbeitung
bei der Montageplanung
FAPS, 195 Seiten, 76 Bilder. 1992.
ISBN 3-446-17117-7.

Band 28: Martin Hoffmann
Entwicklung einer
CAD/CAM-Prozesskette für die
Herstellung von Blechbiegeteilen
LFT, 149 Seiten, 89 Bilder. 1992.
ISBN 3-446-17154-1.

Band 29: Peter Hoffmann
Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden
und -schweißen: Prozeßführung und
Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbear-
beitung von Blechformteilen
LFT, 186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tab. 1992.
ISBN 3-446-17153-3.

Band 30: Olaf Schrödel
Flexible Werkstattsteuerung mit
objektorientierten Softwarestrukturen
FAPS, 180 Seiten, 84 Bilder. 1992.
ISBN 3-446-17242-4.

Band 31: Hubert Reinisch
Planungs- und Steuerungswerkzeuge
zur impliziten Geräteprogrammierung
in Roboterzellen
FAPS, XI u. 212 Seiten, 112 Bilder. 1992.
ISBN 3-446-17380-3.

Band 32: Brigitte Bärnreuther
Ein Beitrag zur Bewertung des Kommuni-
kationsverhaltens von Automatisierungs-
geräten in flexiblen Produktionszellen
FAPS, XI u. 179 Seiten, 71 Bilder. 1992.
ISBN 3-446-17451-6.

Band 33: Joachim Hutfless
Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik
in der Strahlführung einer
CO₂-Hochleistungslaseranlage
LFT, 175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tab. 1993.
ISBN 3-446-17532-6.

Band 34: Uwe Günzel
Entwicklung und Einsatz eines Simula-
tionsverfahrens für operative und
strategische Probleme der
Produktionsplanung und -steuerung
FAPS, XIV u. 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tab.
1993. ISBN 3-446-17604-7.

Band 35: Bertram Ehmann
Operatives Fertigungscontrolling durch
Optimierung auftragsbezogener Bearbei-
tungsabläufe in der Elektronikfertigung
FAPS, XV u. 167 Seiten, 114 Bilder. 1993.
ISBN 3-446-17658-6.

Band 36: Harald Kolléra
Entwicklung eines benutzerorientierten
Werkstattprogrammiersystems für das
Laserstrahlschneiden
LFT, 129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tab. 1993.
ISBN 3-446-17719-1.

Band 37: Stephanie Abels
Modellierung und Optimierung von
Montageanlagen in einem integrierten
Simulationssystem
FAPS, 188 Seiten, 88 Bilder. 1993.
ISBN 3-446-17731-0.

Band 38: Robert Schmidt-Hebbel
Laserstrahlbohren durchflußbestimmen-
der Durchgangslöcher
LFT, 145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tab. 1993.
ISBN 3-446-17778-7.

Band 39: Norbert Lutz
Oberflächenfeinbearbeitung
keramischer Werkstoffe mit
XeCl-Excimerlaserstrahlung
LFT, 187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tab. 1994.
ISBN 3-446-17970-4.

Band 40: Konrad Grampp
Rechnerunterstützung bei Test und
Schulung an Steuerungssoftware von
SMD-Bestücklinien
FAPS, 178 Seiten, 88 Bilder. 1995.
ISBN 3-446-18173-3.

Band 41: Martin Koch
Wissensbasierte Unterstützung der
Angebotsbearbeitung in der
Investitionsgüterindustrie
FAPS, 169 Seiten, 68 Bilder. 1995.
ISBN 3-446-18174-1.

Band 42: Armin Gropp
Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim
Schneiden mit einem gepulsten
Nd:YAG-Laser
LFT, 160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tab. 1995.
ISBN 3-446-18241-1.

Band 43: Werner Heckel
Optische 3D-Konturerfassung und
on-line Biegewinkelmessung mit
dem Lichtschnittverfahren
LFT, 149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tab. 1995.
ISBN 3-446-18243-8.

Band 44: Armin Rothhaupt
Modulares Planungssystem zur
Optimierung der Elektronikfertigung
FAPS, 180 Seiten, 101 Bilder. 1995.
ISBN 3-446-18307-8.

Band 45: Bernd Zöllner
Adaptive Diagnose in der
Elektronikproduktion
FAPS, 195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tab. 1995.
ISBN 3-446-18308-6.

Band 46: Bodo Vormann
Beitrag zur automatisierten
Handhabungsplanung komplexer
Blechbiegeteile
LFT, 126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tab. 1995.
ISBN 3-446-18345-0.

Band 47: Peter Schnepf
Zielkostenorientierte Montageplanung
FAPS, 144 Seiten, 75 Bilder. 1995.
ISBN 3-446-18397-3.

Band 48: Rainer Klotzbücher
Konzept zur rechnerintegrierten
Materialversorgung in flexiblen
Fertigungssystemen
FAPS, 156 Seiten, 62 Bilder. 1995.
ISBN 3-446-18412-0.

Band 49: Wolfgang Greska
Wissensbasierte Analyse und
Klassifizierung von Blechteilen
LFT, 144 Seiten, 96 Bilder. 1995.
ISBN 3-446-18462-7.

Band 50: Jörg Franke
Integrierte Entwicklung neuer
Produkt- und Produktionstechnologien
für räumliche spritzgegossene
Schaltungsträger (3-D MID)
FAPS, 196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tab. 1995.
ISBN 3-446-18448-1.

Band 51: Franz-Josef Zeller
Sensorplanung und schnelle
Sensorregelung für Industrieroboter
FAPS, 190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tab. 1995.
ISBN 3-446-18601-8.

Band 52: Michael Solvie
Zeitbehandlung und
Multimedia-Unterstützung in
Feldkommunikationssystemen
FAPS, 200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tab. 1996.
ISBN 3-446-18607-7.

Band 53: Robert Hopperdietzel
Reengineering in der Elektro- und
Elektronikindustrie
FAPS, 180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tab. 1996.
ISBN 3-87525-070-2.

Band 54: Thomas Rebhahn
Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung
mit Excimerlasern - Systemkomponenten
und Verfahrensoptimierungen
LFT, 148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tab. 1996.
ISBN 3-87525-075-3.

Band 55: Henning Hanebuth
Laserstrahlhartlöten mit
Zweistrahlschweißtechnik
LFT, 157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tab. 1996.
ISBN 3-87525-074-5.

Band 56: Uwe Schönherr
Steuerung und Sensordatenintegration
für flexible Fertigungszellen mit
kooperierenden Robotern
FAPS, 188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tab. 1996.
ISBN 3-87525-076-1.

Band 57: Stefan Holzer
Berührungslose Formgebung mit
Laserstrahlung
LFT, 162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tab. 1996.
ISBN 3-87525-079-6.

Band 58: Markus Schultz
Fertigungsqualität beim
3D-Laserstrahlschweißen von
Blechformteilen
LFT, 165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-080-X.

Band 59: Thomas Krebs
Integration elektromechanischer
CA-Anwendungen über einem
STEP-Produktmodell
FAPS, 198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-081-8.

Band 60: Jürgen Sturm
Prozeßintegrierte Qualitätssicherung
in der Elektronikproduktion
FAPS, 167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-082-6.

Band 61: Andreas Brand
Prozesse und Systeme zur Bestückung
räumlicher elektronischer Baugruppen
(3D-MID)
FAPS, 182 Seiten, 100 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-087-7.

Band 62: Michael Kauf
Regelung der Laserstrahlleistung und
der Fokusparameter einer
CO₂-Hochleistungslaseranlage
LFT, 140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-083-4.

Band 63: Peter Steinwasser
Modulares Informationsmanagement
in der integrierten Produkt- und
Prozeßplanung
FAPS, 190 Seiten, 87 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-084-2.

Band 64: Georg Liedl
Integriertes Automatisierungskonzept
für den flexiblen Materialfluß in der
Elektronikproduktion
FAPS, 196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-086-9.

Band 65: Andreas Otto
Transiente Prozesse beim
Laserstrahlschweißen
LFT, 132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-089-3.

Band 66: Wolfgang Blöchl
Erweiterte Informationsbereitstellung
an offenen CNC-Steuerungen zur
Prozeß- und Programmoptimierung
FAPS, 168 Seiten, 96 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-091-5.

Band 67: Klaus-Uwe Wolf
Verbesserte Prozeßführung und
Prozeßplanung zur Leistungs- und
Qualitätssteigerung beim
Spulenwickeln
FAPS, 186 Seiten, 125 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-092-3.

Band 68: Frank Backes
Technologieorientierte Bahnplanung
für die 3D-Laserstrahlbearbeitung
LFT, 138 Seiten, 71 Bilder, 2 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-093-1.

Band 69: Jürgen Kraus
Laserstrahlumformen von Profilen
LFT, 137 Seiten, 72 Bilder, 8 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-094-X.

Band 70: Norbert Neubauer
Adaptive Strahlführungen für
CO₂-Laseranlagen
LFT, 120 Seiten, 50 Bilder, 3 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-095-8.

Band 71: Michael Steber
Prozeßoptimierter Betrieb flexibler
Schraubstationen in der
automatisierten Montage
FAPS, 168 Seiten, 78 Bilder, 3 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-096-6.

Band 72: Markus Pfestorf
Funktionale 3D-Oberflächenkenngrößen
in der Umformtechnik
LFT, 162 Seiten, 84 Bilder, 15 Tab. 1997.
ISBN 3-87525-097-4.

Band 73: Volker Franke
Integrierte Planung und Konstruktion
von Werkzeugen für die Biegebearbeitung
LFT, 143 Seiten, 81 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-098-2.

Band 74: Herbert Scheller
Automatisierte Demontagesysteme
und recyclinggerechte Produktgestaltung
elektronischer Baugruppen
FAPS, 184 Seiten, 104 Bilder, 17 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-099-0.

Band 75: Arthur Meßner
Kaltmassivumformung metallischer
Kleinstteile - Werkstoffverhalten,
Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung
LFT, 164 Seiten, 92 Bilder, 14 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-100-8.

Band 76: Mathias Glasmacher
Prozeß- und Systemtechnik zum
Laserstrahl-Mikroschweißen
LFT, 184 Seiten, 104 Bilder, 12 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-101-6.

Band 77: Michael Schwind
Zerstörungsfreie Ermittlung mechanischer
Eigenschaften von Feinblechen mit
dem Wirbelstromverfahren
LFT, 124 Seiten, 68 Bilder, 8 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-102-4.

Band 78: Manfred Gerhard
Qualitätssteigerung in der
Elektronikproduktion durch
Optimierung der Prozeßführung
beim Löten komplexer Baugruppen
FAPS, 179 Seiten, 113 Bilder, 7 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-103-2.

Band 79: Elke Rauh
Methodische Einbindung der Simulation
in die betrieblichen Planungs- und
Entscheidungsabläufe
FAPS, 192 Seiten, 114 Bilder, 4 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-104-0.

Band 80: Sorin Niederkorn
Meßeinrichtung zur Untersuchung
der Wirkflächenreibung bei umformtech-
nischen Prozessen
LFT, 99 Seiten, 46 Bilder, 6 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-105-9.

Band 81: Stefan Schubert
Regelung der Fokusslage beim Schweißen
mit CO₂-Hochleistungslasern unter
Einsatz von adaptiven Optiken
LFT, 140 Seiten, 64 Bilder, 3 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-106-7.

Band 82: Armando Walter Colombo
Development and Implementation of
Hierarchical Control Structures of
Flexible Production Systems Using High
Level Petri Nets
FAPS, 216 Seiten, 86 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-109-1.

Band 83: Otto Meedt
Effizienzsteigerung bei Demontage
und Recycling durch flexible
Demontagetechnologien und optimierte
Produktgestaltung
FAPS, 186 Seiten, 103 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-108-3.

Band 84: Knuth Götz
Modelle und effiziente Modellbildung
zur Qualitätssicherung in der
Elektronikproduktion
FAPS, 212 Seiten, 129 Bilder, 24 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-112-1.

Band 85: Ralf Luchs
Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT FAPS, 176 Seiten, 126 Bilder, 30 Tab. 1998.
ISBN 3-87525-113-7.

Band 86: Frank Pöhlau
Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID) FAPS, 144 Seiten, 99 Bilder. 1999.
ISBN 3-87525-114-8.

Band 87: Roland T. A. Kals
Fundamentals on the miniaturization of sheet metal working processes LFT, 128 Seiten, 58 Bilder, 11 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-115-6.

Band 88: Gerhard Luhn
Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion FAPS, 252 Seiten, 61 Bilder, 1 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-116-4.

Band 89: Axel Sprenger
Adaptives Streckbiegen von Aluminium-Strangpreßprofilen LFT, 114 Seiten, 63 Bilder, 4 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-117-2.

Band 90: Hans-Jörg Pucher
Untersuchungen zur Prozeßfolge Umformen, Bestücken und Laserstrahllöten von Mikrokontakten LFT, 158 Seiten, 69 Bilder, 9 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-119-9.

Band 91: Horst Arnet
Profilbiegen mit kinematischer Gestalterzeugung LFT, 128 Seiten, 67 Bilder, 7 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-120-2.

Band 92: Doris Schubart
Prozeßmodellierung und Technologieentwicklung beim Abtragen mit CO₂-Laserstrahlung LFT, 133 Seiten, 57 Bilder, 13 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-122-9.

Band 93: Adrianus L. P. Coremans
Laserstrahlsintern von Metallpulver - Prozeßmodellierung, Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter Metallkörper LFT, 184 Seiten, 108 Bilder, 12 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-124-5.

Band 94: Hans-Martin Biehler
Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung FAPS, 194 Seiten, 105 Bilder. 1999.
ISBN 3-87525-126-1.

Band 95: Wolfgang Becker
Oberflächen Ausbildung und tribologische Eigenschaften excimerlaserstrahlbearbeiteter Hochleistungskeramiken LFT, 175 Seiten, 71 Bilder, 3 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-127-X.

Band 96: Philipp Hein
Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren: Modellierung, Prozeßauslegung und Prozeßführung LFT, 129 Seiten, 57 Bilder, 7 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-128-8.

Band 97: Gunter Beitinger
Herstellungs- und Prüfverfahren für
thermoplastische Schaltungsträger
FAPS, 169 Seiten, 92 Bilder, 20 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-129-6.

Band 98: Jürgen Knoblach
Beitrag zur rechnerunterstützten
verursachungsgerechten
Angebotskalkulation von Blechteilen
mit Hilfe wissensbasierter Methoden
LFT, 155 Seiten, 53 Bilder, 26 Tab. 1999.
ISBN 3-87525-130-X.

Band 99: Frank Breitenbach
Bildverarbeitungssystem zur Erfassung
der Anschlußgeometrie elektronischer
SMT-Bauelemente
LFT, 147 Seiten, 92 Bilder, 12 Tab. 2000.
ISBN 3-87525-131-8.

Band 100: Bernd Falk
Simulationsbasierte
Lebensdauervorhersage für Werkzeuge
der Kaltmassivumformung
LFT, 134 Seiten, 44 Bilder, 15 Tab. 2000.
ISBN 3-87525-136-9.

Band 101: Wolfgang Schlögl
Integriertes Simulationsdaten-Management für Maschinenentwicklung und
Anlagenplanung
FAPS, 169 Seiten, 101 Bilder, 20 Tab. 2000.
ISBN 3-87525-137-7.

Band 102: Christian Hinsel
Ermüdungsbruchversagen
hartstoffbeschichteter Werkzeugstähle
in der Kaltmassivumformung
LFT, 130 Seiten, 80 Bilder, 14 Tab. 2000.
ISBN 3-87525-138-5.

Band 103: Stefan Bobbert
Simulationsgestützte Prozessauslegung
für das Innenhochdruck-Umformen
von Blechpaaren
LFT, 123 Seiten, 77 Bilder. 2000.
ISBN 3-87525-145-8.

Band 104: Harald Rottbauer
Modulares Planungswerkzeug zum
Produktionsmanagement in der
Elektronikproduktion
FAPS, 166 Seiten, 106 Bilder. 2001.
ISBN 3-87525-139-3.
Band 111: Jürgen Göhringer
Integrierte Telediagnose via Internet
zum effizienten Service von
Produktionssystemen
FAPS, 178 Seiten, 98 Bilder, 5 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-147-4.

Band 105: Thomas Hennige
Flexible Formgebung von Blechen
durch Laserstrahlumformen
LFT, 119 Seiten, 50 Bilder. 2001.
ISBN 3-87525-140-7.

Band 106: Thomas Menzel
Wissensbasierte Methoden für die
rechnergestützte Charakterisierung
und Bewertung innovativer
Fertigungsprozesse
LFT, 152 Seiten, 71 Bilder. 2001.
ISBN 3-87525-142-3.

Band 107: Thomas Stöckel
Kommunikationstechnische Integration
der Prozeßebene in Produktionssysteme
durch Middleware-Frameworks
FAPS, 147 Seiten, 65 Bilder, 5 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-143-1.

Band 108: Frank Pitter
Verfügbarkeitssteigerung von
Werkzeugmaschinen durch Einsatz
mechatronischer Sensorlösungen
FAPS, 158 Seiten, 131 Bilder, 8 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-144-X.

Band 109: Markus Korneli
Integration lokaler CAP-Systeme in
einen globalen Fertigungsdatenverbund
FAPS, 121 Seiten, 53 Bilder, 11 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-146-6.

Band 110: Burkhard Müller
Laserstrahljustieren mit Excimer-Lasern -
Prozeßparameter und Modelle zur
Aktorkonstruktion
LFT, 128 Seiten, 36 Bilder, 9 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-159-8.

Band 111: Jürgen Göhringer
Integrierte Telediagnose via Internet
zum effizienten Service von
Produktionssystemen
FAPS, 178 Seiten, 98 Bilder, 5 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-147-4.

Band 112: Robert Feuerstein
Qualitäts- und kosteneffiziente Integra-
tion neuer Bauelementetechnologien in
die Flachbaugruppenfertigung
FAPS, 161 Seiten, 99 Bilder, 10 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-151-2.

Band 113: Marcus Reichenberger
Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten
alternativer Elektroniklote in der
Oberflächenmontage (SMT)
FAPS, 165 Seiten, 97 Bilder, 18 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-152-0.

Band 114: Alexander Huber
Justieren vormontierter Systeme mit dem
Nd:YAG-Laser unter Einsatz von Aktoren
LFT, 122 Seiten, 58 Bilder, 5 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-153-9.

Band 115: Sami Krimi
Analyse und Optimierung von Montage-
systemen in der Elektronikproduktion
FAPS, 155 Seiten, 88 Bilder, 3 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-157-1.

Band 116: Marion Merklein
Laserstrahlumformen von
Aluminiumwerkstoffen - Beeinflussung
der Mikrostruktur und
der mechanischen Eigenschaften
LFT, 122 Seiten, 65 Bilder, 15 Tab. 2001.
ISBN 3-87525-156-3.

Band 117: Thomas Collisi
Ein informationslogistisches
Architekturkonzept zur Akquisition
simulationsrelevanter Daten
FAPS, 181 Seiten, 105 Bilder, 7 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-164-4.

Band 118: Markus Koch
Rationalisierung und ergonomische
Optimierung im Innenausbau durch
den Einsatz moderner
Automatisierungstechnik
FAPS, 176 Seiten, 98 Bilder, 9 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-165-2.

Band 119: Michael Schmidt
Prozeßregelung für das Laserstrahl-
Punktschweißen in der Elektronikpro-
duktion
LFT, 152 Seiten, 71 Bilder, 3 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-166-0.

Band 120: Nicolas Tiesler
Grundlegende Untersuchungen zum
Fließpressen metallischer Kleinstteile
LFT, 126 Seiten, 78 Bilder, 12 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-175-X.

Band 121: Lars Pursche
Methoden zur technologieorientierten
Programmierung für
die 3D-Lasermikrobearbeitung
LFT, 111 Seiten, 39 Bilder, 0 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-183-0.

Band 122: Jan-Oliver Brassel
Prozeßkontrolle beim
Laserstrahl-Mikroschweißen
LFT, 148 Seiten, 72 Bilder, 12 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-181-4.

Band 123: Mark Geisel
Prozeßkontrolle und -steuerung beim
Laserstrahlschweißen mit den Methoden
der nichtlinearen Dynamik
LFT, 135 Seiten, 46 Bilder, 2 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-180-6.

Band 124: Gerd Eßer
Laserstrahlunterstützte Erzeugung
metallischer Leiterstrukturen auf
Thermoplastsubstraten für die
MID-Technik
LFT, 148 Seiten, 60 Bilder, 6 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-171-7.

Band 125: Marc Fleckenstein
Qualität laserstrahl-gefügter
Mikroverbindungen elektronischer
Kontakte
LFT, 159 Seiten, 77 Bilder, 7 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-170-9.

Band 126: Stefan Kaufmann
Grundlegende Untersuchungen zum
Nd:YAG- Laserstrahlfügen von Silizium
für Komponenten der Optoelektronik
LFT, 159 Seiten, 100 Bilder, 6 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-172-5.

Band 127: Thomas Fröhlich
Simultanes Löten von Anschlußkontak-
ten elektronischer Bauelemente mit
Diodenlaserstrahlung
LFT, 143 Seiten, 75 Bilder, 6 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-186-5.

Band 128: Achim Hofmann
Erweiterung der Formgebungsgrenzen
beim Umformen von
Aluminiumwerkstoffen durch den Ein-
satz prozessangepasster Platinen
LFT, 113 Seiten, 58 Bilder, 4 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-182-2.

Band 129: Ingo Kriebitzsch
3 - D MID Technologie in der
Automobilelektronik
FAPS, 129 Seiten, 102 Bilder, 10 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-169-5.

Band 130: Thomas Pohl
Fertigungsqualität und Umformbarkeit
laserstrahlgeschweißter Formplatinen
aus Aluminiumlegierungen
LFT, 133 Seiten, 93 Bilder, 12 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-173-3.

Band 131: Matthias Wenk
Entwicklung eines konfigurierbaren
Steuerungssystems für die flexible
Sensorführung von Industrierobotern
FAPS, 167 Seiten, 85 Bilder, 1 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-174-1.

Band 132: Matthias Negendanck
Neue Sensorik und Aktorik für
Bearbeitungsköpfe zum
Laserstrahlschweißen
LFT, 116 Seiten, 60 Bilder, 14 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-184-9.

Band 133: Oliver Kreis
Integrierte Fertigung - Verfahrensin-
tegration durch Innenhochdruck-Umfor-
men, Trennen und Laserstrahlschweißen
in einem Werkzeug sowie ihre tele- und
multimediale Präsentation
LFT, 167 Seiten, 90 Bilder, 43 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-176-8.

Band 134: Stefan Trautner
Technische Umsetzung produktbezoge-
ner Instrumente der Umweltpolitik bei
Elektro- und Elektronikgeräten
FAPS, 179 Seiten, 92 Bilder, 11 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-177-6.

Band 135: Roland Meier
Strategien für einen produktorientierten
Einsatz räumlicher spritzgegossener
Schaltungsträger (3-D MID)
FAPS, 155 Seiten, 88 Bilder, 14 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-178-4.

Band 136: Jürgen Wunderlich
Kostensimulation - Simulationsbasierte
Wirtschaftlichkeitsregelung komplexer
Produktionssysteme
FAPS, 202 Seiten, 119 Bilder, 17 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-179-2.

Band 137: Stefan Novotny
Innenhochdruck-Umformen von Blechen
aus Aluminium- und Magnesiumlegie-
rungen bei erhöhter Temperatur
LFT, 132 Seiten, 82 Bilder, 6 Tab. 2002.
ISBN 3-87525-185-7.

Band 138: Andreas Licha
Flexible Montageautomatisierung zur
Komplettmontage flächenhafter Produkt-
strukturen durch kooperierende
Industrieroboter
FAPS, 158 Seiten, 87 Bilder, 8 Tab. 2003.
ISBN 3-87525-189-X.

Band 139: Michael Eisenbarth
Beitrag zur Optimierung der Aufbau- und
Verbindungstechnik für mechatronische
Baugruppen
FAPS, 207 Seiten, 141 Bilder, 9 Tab. 2003.
ISBN 3-87525-190-3.

Band 140: Frank Christoph
Durchgängige simulationsgestützte
Planung von Fertigungseinrichtungen der
Elektronikproduktion
FAPS, 187 Seiten, 107 Bilder, 9 Tab. 2003.
ISBN 3-87525-191-1.

Band 141: Hinnerk Hagenah
Simulationsbasierte Bestimmung der
zu erwartenden Maßhaltigkeit für das
Blechbiegen
LFT, 131 Seiten, 36 Bilder, 26 Tab. 2003.
ISBN 3-87525-192-X.

Band 142: Ralf Eckstein
Scherschneiden und Biegen metallischer
Kleinstteile - Materialeinfluss und
Materialverhalten
LFT, 148 Seiten, 71 Bilder, 19 Tab. 2003.
ISBN 3-87525-193-8.

Band 143: Frank H. Meyer-Pittroff
Excimerlaserstrahlbiegen dünner
metallischer Folien mit homogener
Lichtlinie
LFT, 138 Seiten, 60 Bilder, 16 Tab. 2003.
ISBN 3-87525-196-2.

Band 144: Andreas Kach
Rechnergestützte Anpassung von
Laserstrahlschneidbahnen
an Bauteilabweichungen
LFT, 139 Seiten, 69 Bilder, 11 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-197-0.

Band 145: Stefan Hierl
System- und Prozesstechnik für das
simultane Löten mit Diodenlaserstrahlung
von elektronischen Bauelementen
LFT, 124 Seiten, 66 Bilder, 4 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-198-9.

Band 146: Thomas Neudecker
Tribologische Eigenschaften keramischer
Blechumformwerkzeuge- Einfluss einer
Oberflächenendbearbeitung mittels
Excimerlaserstrahlung
LFT, 166 Seiten, 75 Bilder, 26 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-200-4.

Band 147: Ulrich Wenger
Prozessoptimierung in der Wickeltechnik
durch innovative maschinenbauliche und
regelungstechnische Ansätze
FAPS, 132 Seiten, 88 Bilder, 0 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-203-9.

Band 148: Stefan Slama
Effizienzsteigerung in der Montage durch
marktorientierte Montagestrukturen und
erweiterte Mitarbeiterkompetenz
FAPS, 188 Seiten, 125 Bilder, 0 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-204-7.

Band 149: Thomas Wurm
Laserstrahljustieren mittels Aktoren-Entwicklung
von Konzepten und Methoden
für die rechnerunterstützte Modellierung
und Optimierung von komplexen
Aktorsystemen in der Mikrotechnik
LFT, 122 Seiten, 51 Bilder, 9 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-206-3.

Band 150: Martino Celeghini
Wirkmedienbasierte Blechumformung:
Grundlagenuntersuchungen zum Einfluss
von Werkstoff und Bauteilgeometrie
LFT, 146 Seiten, 77 Bilder, 6 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-207-1.

Band 151: Ralph Hohenstein
Entwurf hochdynamischer Sensor- und
Regelsysteme für die adaptive
Laserbearbeitung
LFT, 282 Seiten, 63 Bilder, 16 Tab. 2004.
ISBN 3-87525-210-1.

Band 152: Angelika Hutterer
Entwicklung prozessüberwachender
Regelkreise für flexible
Formgebungsprozesse
LFT, 149 Seiten, 57 Bilder, 2 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-212-8.

Band 153: Emil Egerer
Massivumformen metallischer Kleinstteile
bei erhöhter Prozesstemperatur
LFT, 158 Seiten, 87 Bilder, 10 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-213-6.

Band 154: Rüdiger Holzmann
Strategien zur nachhaltigen Optimierung
von Qualität und Zuverlässigkeit in
der Fertigung hochintegrierter
Flachbaugruppen
FAPS, 186 Seiten, 99 Bilder, 19 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-217-9.

Band 155: Marco Nock
Biegeumformen mit
Elastomerwerkzeugen Modellierung,
Prozessauslegung und Abgrenzung des
Verfahrens am Beispiel des Rohrbiegens
LFT, 164 Seiten, 85 Bilder, 13 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-218-7.

Band 156: Frank Niebling
Qualifizierung einer Prozesskette zum
Laserstrahlsintern metallischer Bauteile
LFT, 148 Seiten, 89 Bilder, 3 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-219-5.

Band 157: Markus Meiler
Großserientauglichkeit trockenschmier-
stoffbeschichteter Aluminiumbleche im
Presswerk Grundlegende Untersuchun-
gen zur Tribologie, zum Umformverhal-
ten und Bauteilversuche
LFT, 104 Seiten, 57 Bilder, 21 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-221-7.

Band 158: Agus Sutanto
Solution Approaches for Planning of
Assembly Systems in Three-Dimensional
Virtual Environments
FAPS, 169 Seiten, 98 Bilder, 3 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-220-9.

Band 159: Matthias Boiger
Hochleistungssysteme für die Fertigung
elektronischer Baugruppen auf der Basis
flexibler Schaltungsträger
FAPS, 175 Seiten, 111 Bilder, 8 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-222-5.

Band 160: Matthias Pitz
Laserunterstütztes Biegen höchstfester
Mehrphasenstähle
LFT, 120 Seiten, 73 Bilder, 11 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-223-3.

Band 161: Meik Vahl
Beitrag zur gezielten Beeinflussung des
Werkstoffflusses beim Innenhochdruck-
Umformen von Blechen
LFT, 165 Seiten, 94 Bilder, 15 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-224-1.

Band 162: Peter K. Kraus
Plattformstrategien - Realisierung
einer varianz- und kostenoptimierten
Wertschöpfung
FAPS, 181 Seiten, 95 Bilder, 0 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-226-8.

Band 163: Adrienn Cser
Laserstrahlschmelzabtrag - Prozessana-
lyse und -modellierung
LFT, 146 Seiten, 79 Bilder, 3 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-227-6.

Band 164: Markus C. Hahn
Grundlegende Untersuchungen zur
Herstellung von Leichtbauverbundstruk-
turen mit Aluminiumschaumkern
LFT, 143 Seiten, 60 Bilder, 16 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-228-4.

Band 165: Gordana Michos
Mechatronische Ansätze zur Optimie-
rung von Vorschubachsen
FAPS, 146 Seiten, 87 Bilder, 17 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-230-6.

Band 166: Markus Stark
Auslegung und Fertigung hochpräziser
Faser-Kollimator-Arrays
LFT, 158 Seiten, 115 Bilder, 11 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-231-4.

Band 167: Yurong Zhou
Kollaboratives Engineering Management
in der integrierten virtuellen Entwicklung
der Anlagen für die Elektronikproduktion
FAPS, 156 Seiten, 84 Bilder, 6 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-232-2.

Band 168: Werner Enser
Neue Formen permanenter und lösbarer elektrischer Kontaktierungen für mechatronische Baugruppen
FAPS, 190 Seiten, 112 Bilder, 5 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-233-0.

Band 169: Katrin Melzer
Integrierte Produktpolitik bei elektrischen und elektronischen Geräten zur Optimierung des Product-Life-Cycle
FAPS, 155 Seiten, 91 Bilder, 17 Tab. 2005.
ISBN 3-87525-234-9.

Band 170: Alexander Putz
Grundlegende Untersuchungen zur Erfassung der realen Vorspannung von armierten Kaltfließpresswerkzeugen mittels Ultraschall
LFT, 137 Seiten, 71 Bilder, 15 Tab. 2006.
ISBN 3-87525-237-3.

Band 171: Martin Prechtel
Automatisiertes Schichtverfahren für metallische Folien - System- und Prozesstechnik
LFT, 154 Seiten, 45 Bilder, 7 Tab. 2006.
ISBN 3-87525-238-1.

Band 172: Markus Meidert
Beitrag zur deterministischen Lebensdauerabschätzung von Werkzeugen der Kaltmassivumformung
LFT, 131 Seiten, 78 Bilder, 9 Tab. 2006.
ISBN 3-87525-239-X.

Band 173: Bernd Müller
Robuste, automatisierte Montagesysteme durch adaptive Prozessführung und montageübergreifende Fehlerprävention am Beispiel flächiger Leichtbauteile
FAPS, 147 Seiten, 77 Bilder, 0 Tab. 2006.
ISBN 3-87525-240-3.

Band 174: Alexander Hofmann
Hybrides Laserdurchstrahlsschweißen von Kunststoffen
LFT, 136 Seiten, 72 Bilder, 4 Tab. 2006.
ISBN 978-3-87525-243-9.

Band 175: Peter Wölflick
Innovative Substrate und Prozesse mit feinsten Strukturen für bleifreie Mechatronik-Anwendungen
FAPS, 177 Seiten, 148 Bilder, 24 Tab. 2006.
ISBN 978-3-87525-246-0.

Band 176: Attila Komlodi
Detection and Prevention of Hot Cracks during Laser Welding of Aluminium Alloys Using Advanced Simulation Methods
LFT, 155 Seiten, 89 Bilder, 14 Tab. 2006.
ISBN 978-3-87525-248-4.

Band 177: Uwe Popp
Grundlegende Untersuchungen zum Laserstrahlstrukturieren von Kaltmassivumformwerkzeugen
LFT, 140 Seiten, 67 Bilder, 16 Tab. 2006.
ISBN 978-3-87525-249-1.

Band 178: Veit Rückel
Rechnergestützte Ablaufplanung und Bahngenerierung Für kooperierende Industrieroboter
FAPS, 148 Seiten, 75 Bilder, 7 Tab. 2006.
ISBN 978-3-87525-250-7.

Band 179: Manfred Dirscherl
Nicht-thermische Mikrojustiertechnik mittels ultrakurzer Laserpulse
LFT, 154 Seiten, 69 Bilder, 10 Tab. 2007.
ISBN 978-3-87525-251-4.

Band 180: Yong Zhuo
Entwurf eines rechnergestützten integrierten Systems für Konstruktion und Fertigungsplanung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3D-MID)
FAPS, 181 Seiten, 95 Bilder, 5 Tab. 2007.
ISBN 978-3-87525-253-8.

Band 181: Stefan Lang
Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion
FAPS, 172 Seiten, 93 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-257-6.

Band 182: Hans-Joachim Krauß
Laserstrahlinduzierte Pyrolyse präkeramischer Polymere
LFT, 171 Seiten, 100 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-258-3.

Band 183: Stefan Junker
Technologien und Systemlösungen für die flexibel automatisierte Bestückung permanent erregter Läufer mit oberflächenmontierten Dauermagneten
FAPS, 173 Seiten, 75 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-259-0.

Band 184: Rainer Kohlbauer
Wissensbasierte Methoden für die simulationsgestützte Auslegung wirkmedienbasierter Blechumformprozesse
LFT, 135 Seiten, 50 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-260-6.

Band 185: Klaus Lamprecht
Wirkmedienbasierte Umformung tiefgezogener Vorformen unter besonderer Berücksichtigung maßgeschneiderter Halbzeuge
LFT, 137 Seiten, 81 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-265-1.

Band 186: Bernd Zolleiß
Optimierte Prozesse und Systeme für die Bestückung mechatronischer Baugruppen
FAPS, 180 Seiten, 117 Bilder. 2007.
ISBN 978-3-87525-266-8.

Band 187: Michael Kerausch
Simulationsgestützte Prozessauslegung für das Umformen lokal wärmebehandelter Aluminiumplatten
LFT, 146 Seiten, 76 Bilder, 7 Tab. 2007.
ISBN 978-3-87525-267-5.

Band 188: Matthias Weber
Unterstützung der Wandlungsfähigkeit von Produktionsanlagen durch innovative Softwaresysteme
FAPS, 183 Seiten, 122 Bilder, 3 Tab. 2007.
ISBN 978-3-87525-269-9.

Band 189: Thomas Frick
Untersuchung der prozessbestimmenden Strahl-Stoff-Wechselwirkungen beim Laserstrahlschweißen von Kunststoffen
LFT, 104 Seiten, 62 Bilder, 8 Tab. 2007.
ISBN 978-3-87525-268-2.

Band 190: Joachim Hecht
Werkstoffcharakterisierung und
Prozessauslegung für die wirkmedienba-
sierte Doppelblech-Umformung von
Magnesiumlegierungen
LFT, 107 Seiten, 91 Bilder, 2 Tab. 2007.
ISBN 978-3-87525-270-5.

Band 191: Ralf Völkl
Stochastische Simulation zur Werkzeug-
lebensdaueroptimierung und Präzisions-
fertigung in der Kaltmassivumformung
LFT, 178 Seiten, 75 Bilder, 12 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-272-9.

Band 192: Massimo Tolazzi
Innenhochdruck-Umformen verstärkter
Blech-Rahmenstrukturen
LFT, 164 Seiten, 85 Bilder, 7 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-273-6.

Band 193: Cornelia Hoff
Untersuchung der Prozesseinflussgrößen
beim Presshärten des höchstfesten
Vergütungsstahls 22MnB5
LFT, 133 Seiten, 92 Bilder, 5 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-275-0.

Band 194: Christian Alvarez
Simulationsgestützte Methoden zur
effizienten Gestaltung von Lötprozessen
in der Elektronikproduktion
FAPS, 149 Seiten, 86 Bilder, 8 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-277-4.

Band 195: Andreas Kunze
Automatisierte Montage von makrome-
chatronischen Modulen zur flexiblen
Integration in hybride
Pkw-Bordnetzsysteme
FAPS, 160 Seiten, 90 Bilder, 14 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-278-1.

Band 196: Wolfgang Hußnätter
Grundlegende Untersuchungen zur
experimentellen Ermittlung und zur
Modellierung von Fließortkurven bei
erhöhten Temperaturen
LFT, 152 Seiten, 73 Bilder, 21 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-279-8.

Band 197: Thomas Bigl
Entwicklung, angepasste Herstellungsverfahren
und erweiterte Qualitätssicherung
von einsatzgerechten elektronischen
Baugruppen
FAPS, 175 Seiten, 107 Bilder, 14 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-280-4.

Band 198: Stephan Roth
Grundlegende Untersuchungen zum
Excimerlaserstrahl-Abtragen unter
Flüssigkeitsfilmen
LFT, 113 Seiten, 47 Bilder, 14 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-281-1.

Band 199: Artur Giera
Prozesstechnische Untersuchungen
zum Rührreibschweißen metallischer
Werkstoffe
LFT, 179 Seiten, 104 Bilder, 36 Tab. 2008.
ISBN 978-3-87525-282-8.

Band 200: Jürgen Lechler
Beschreibung und Modellierung
des Werkstoffverhaltens von
presshärtbaren Bor-Manganstählen
LFT, 154 Seiten, 75 Bilder, 12 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-286-6.

Band 201: Andreas Blankl
Untersuchungen zur Erhöhung der
Prozessrobustheit bei der Innenhoch-
druck-Umformung von flächigen Halb-
zeugen mit vor- bzw. nachgeschalteten
Laserstrahlfügeoperationen
LFT, 120 Seiten, 68 Bilder, 9 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-287-3.

Band 202: Andreas Schaller
Modellierung eines nachfrageorientierten
Produktionskonzeptes für mobile
Telekommunikationsgeräte
FAPS, 120 Seiten, 79 Bilder, 0 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-289-7.

Band 203: Claudius Schimpf
Optimierung von Zuverlässigkeitsunter-
suchungen, Prüfabläufen und Nachar-
beitsprozessen in der Elektronikproduk-
tion
FAPS, 162 Seiten, 90 Bilder, 14 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-290-3.

Band 204: Simon Dietrich
Sensoriken zur Schwerpunktslagebestim-
mung der optischen Prozessemissionen
beim Laserstrahl-tiefschweißen
LFT, 138 Seiten, 70 Bilder, 5 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-292-7.

Band 205: Wolfgang Wolf
Entwicklung eines agentenbasierten
Steuerungssystems zur
Materialflussorganisation im
wandelbaren Produktionsumfeld
FAPS, 167 Seiten, 98 Bilder. 2009.
ISBN 978-3-87525-293-4.

Band 206: Steffen Polster
Laserdurchstrahlungsschweißen
transparenter Polymerbauteile
LFT, 160 Seiten, 92 Bilder, 13 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-294-1.

Band 207: Stephan Manuel Dörfler
Rührreibschweißen von walzplattiertem
Halbzeug und Aluminiumblech zur
Herstellung flächiger Aluminiumschaum-
Sandwich-Verbundstrukturen
LFT, 190 Seiten, 98 Bilder, 5 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-295-8.

Band 208: Uwe Vogt
Seriennahe Auslegung von Aluminium
Tailored Heat Treated Blanks
LFT, 151 Seiten, 68 Bilder, 26 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-296-5.

Band 209: Till Laumann
Qualitative und quantitative Bewertung
der Crashtauglichkeit von höchstfesten
Stählen
LFT, 117 Seiten, 69 Bilder, 7 Tab. 2009.
ISBN 978-3-87525-299-6.

Band 210: Alexander Diehl
Größeneffekte bei Biegeprozessen-
Entwicklung einer Methodik zur
Identifikation und Quantifizierung
LFT, 180 Seiten, 92 Bilder, 12 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-302-3.

Band 211: Detlev Staud
Effiziente Prozesskettenauslegung für das
Umformen lokal wärmebehandelter und
geschweißter Aluminiumbleche
LFT, 164 Seiten, 72 Bilder, 12 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-303-0.

Band 212: Jens Ackermann
Prozesssicherung beim Laserdurchstrahl-
schweißen thermoplastischer Kunststoffe
LPT, 129 Seiten, 74 Bilder, 13 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-305-4.

Band 213: Stephan Weidel
Grundlegende Untersuchungen zum
Kontaktzustand zwischen Werkstück
und Werkzeug bei umformtechnischen
Prozessen unter tribologischen
Gesichtspunkten
LFT, 144 Seiten, 67 Bilder, 11 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-307-8.

Band 214: Stefan Geißdörfer
Entwicklung eines mesoskopischen
Modells zur Abbildung von Größeneffek-
ten in der Kaltmassivumformung mit
Methoden der FE-Simulation
LFT, 133 Seiten, 83 Bilder, 11 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-308-5.

Band 215: Christian Matzner
Konzeption produktspezifischer Lösun-
gen zur Robustheitssteigerung elektroni-
scher Systeme gegen die Einwirkung von
Betaung im Automobil
FAPS, 165 Seiten, 93 Bilder, 14 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-309-2.

Band 216: Florian Schüßler
Verbindungs- und Systemtechnik für
thermisch hochbeanspruchte und
miniaturisierte elektronische Baugruppen
FAPS, 184 Seiten, 93 Bilder, 18 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-310-8.

Band 217: Massimo Cojutti
Strategien zur Erweiterung der Prozess-
grenzen bei der Innhochdruck-Umform-
ung von Rohren und Blechpaaren
LFT, 125 Seiten, 56 Bilder, 9 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-312-2.

Band 218: Raoul Plettke
Mehrkriterielle Optimierung komplexer
Aktorsysteme für das Laserstrahljustieren
LFT, 152 Seiten, 25 Bilder, 3 Tab. 2010.
ISBN 978-3-87525-315-3.

Band 219: Andreas Dobroschke
Flexible Automatisierungslösungen für
die Fertigung wickeltechnischer Produkte
FAPS, 184 Seiten, 109 Bilder, 18 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-317-7.

Band 220: Azhar Zam
Optical Tissue Differentiation for
Sensor-Controlled Tissue-Specific
Laser Surgery
LPT, 99 Seiten, 45 Bilder, 8 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-318-4.

Band 221: Michael Rösch
Potenziale und Strategien zur Optimie-
rung des Schablonendruckprozesses in
der Elektronikproduktion
FAPS, 192 Seiten, 127 Bilder, 19 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-319-1.

Band 222: Thomas Rechtenwald
Quasi-isothermes Laserstrahlintern von
Hochtemperatur-Thermoplasten - Eine
Betrachtung werkstoff-prozessspezifi-
scher Aspekte am Beispiel PEEK
LPT, 150 Seiten, 62 Bilder, 8 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-320-7.

Band 223: Daniel Craiovan
Prozesse und Systemlösungen für die
SMT-Montage optischer Bauelemente auf
Substrate mit integrierten Lichtwellenlei-
tern
FAPS, 165 Seiten, 85 Bilder, 8 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-324-5.

Band 224: Kay Wagner
Beanspruchungsangepasste
Kaltmassivumformwerkzeuge durch
lokal optimierte Werkzeugoberflächen
LFT, 147 Seiten, 103 Bilder, 17 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-325-2.

Band 225: Martin Brandhuber
Verbesserung der Prognosegüte des Ver-
sagens von Punktschweißverbindungen
bei höchstfesten Stahlgüten
LFT, 155 Seiten, 91 Bilder, 19 Tab. 2011.
ISBN 978-3-87525-327-6.

Band 226: Peter Sebastian Feuser
Ein Ansatz zur Herstellung von
pressgehärteten Karosseriekomponenten
mit maßgeschneiderten mechanischen
Eigenschaften: Temperierte Umform-
werkzeuge. Prozessfenster, Prozesssimu-
lation und funktionale Untersuchung
LFT, 195 Seiten, 97 Bilder, 60 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-328-3.

Band 227: Murat Arbak
Material Adapted Design of Cold Forging
Tools Exemplified by Powder
Metallurgical Tool Steels and Ceramics
LFT, 109 Seiten, 56 Bilder, 8 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-330-6.

Band 228: Indra Pitz
Beschleunigte Simulation des
Laserstrahlumformens von
Aluminiumblechen
LPT, 137 Seiten, 45 Bilder, 27 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-333-7.

Band 229: Alexander Grimm
Prozessanalyse und -überwachung des
Laserstrahlhartlötens mittels optischer
Sensorik
LPT, 125 Seiten, 61 Bilder, 5 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-334-4.

Band 230: Markus Kaupper
Biegen von höhenfesten Stahlblechwerk-
stoffen - Umformverhalten und Grenzen
der Biegebarkeit
LFT, 160 Seiten, 57 Bilder, 10 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-339-9.

Band 231: Thomas Kroiß
Modellbasierte Prozessauslegung für
die Kaltmassivumformung unter
Brücksichtigung der Werkzeug- und
Pressenauffederung
LFT, 169 Seiten, 50 Bilder, 19 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-341-2.

Band 232: Christian Goth
Analyse und Optimierung der Entwick-
lung und Zuverlässigkeit räumlicher
Schaltungsträger (3D-MID)
FAPS, 176 Seiten, 102 Bilder, 22 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-340-5.

Band 233: Christian Ziegler
Ganzheitliche Automatisierung
mechatronischer Systeme in der Medizin
am Beispiel Strahlentherapie
FAPS, 170 Seiten, 71 Bilder, 19 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-342-9.

Band 234: Florian Albert
Automatisiertes Laserstrahllöten
und -reparaturlöten elektronischer
Baugruppen
LPT, 127 Seiten, 78 Bilder, 11 Tab. 2012.
ISBN 978-3-87525-344-3.

Band 235: Thomas Stöhr
Analyse und Beschreibung des
mechanischen Werkstoffverhaltens
von presshärtbaren Bor-Manganstählen
LFT, 118 Seiten, 74 Bilder, 18 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-346-7.

Band 236: Christian Kägeler
Prozessdynamik beim
Laserstrahlschweißen verzinkter
Stahlbleche im Überlappstoß
LPT, 145 Seiten, 80 Bilder, 3 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-347-4.

Band 237: Andreas Sulzberger
Seriennahe Auslegung der Prozesskette
zur wärmeunterstützten Umformung
von Aluminiumblechwerkstoffen
LFT, 153 Seiten, 87 Bilder, 17 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-349-8.

Band 238: Simon Opel
Herstellung prozessangepasster
Halbzeuge mit variabler Blechdicke
durch die Anwendung von Verfahren
der Blechmassivumformung
LFT, 165 Seiten, 108 Bilder, 27 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-350-4.

Band 239: Rajesh Kanawade
In-vivo Monitoring of Epithelium
Vessel and Capillary Density for the
Application of Detection of Clinical
Shock and Early Signs of Cancer Develop-
ment
LPT, 124 Seiten, 58 Bilder, 15 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-351-1.

Band 240: Stephan Busse
Entwicklung und Qualifizierung eines
Schneidclinchverfahrens
LFT, 119 Seiten, 86 Bilder, 20 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-352-8.

Band 241: Karl-Heinz Leitz
Mikro- und Nanostrukturierung mit kurz
und ultrakurz gepulster Laserstrahlung
LPT, 154 Seiten, 71 Bilder, 9 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-355-9.

Band 242: Markus Michl
Webbasierte Ansätze zur ganzheitlichen
technischen Diagnose
FAPS, 182 Seiten, 62 Bilder, 20 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-356-6.

Band 243: Vera Sturm
Einfluss von Chargenschwankungen
auf die Verarbeitungsgrenzen von
Stahlwerkstoffen
LFT, 113 Seiten, 58 Bilder, 9 Tab. 2013.
ISBN 978-3-87525-357-3.

Band 244: Christian Neudel
Mikrostrukturelle und mechanisch-technologische Eigenschaften
widerstandspunktgeschweißter
Aluminium-Stahl-Verbindungen für
den Fahrzeugbau
LFT, 178 Seiten, 171 Bilder, 31 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-358-0.

Band 245: Anja Neumann
Konzept zur Beherrschung der
Prozessschwankungen im Presswerk
LFT, 162 Seiten, 68 Bilder, 15 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-360-3.

Band 246: Ulf-Hermann Quentin
Laserbasierte Nanostrukturierung mit
optisch positionierten Mikrolinsen
LPT, 137 Seiten, 89 Bilder, 6 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-361-0.

Band 247: Erik Lamprecht
Der Einfluss der Fertigungsverfahren
auf die Wirbelstromverluste von
Stator-Einzelzahnblechpaketen für den
Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen
FAPS, 148 Seiten, 138 Bilder, 4 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-362-7.

Band 248: Sebastian Rösel
Wirkmedienbasierte Umformung von
Blechhalbzeugen unter Anwendung
magnetorheologischer Flüssigkeiten als
kombiniertes Wirk- und Dichtmedium
LFT, 148 Seiten, 61 Bilder, 12 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-363-4.

Band 249: Paul Hippchen
Simulative Prognose der Geometrie
indirekt pressgehärteter Karosseriebauteile für die industrielle Anwendung
LFT, 163 Seiten, 89 Bilder, 12 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-364-1.

Band 250: Martin Zubeil
Versagensprognose bei der Prozesssimulation von Biegeumform- und Falzverfahren
LFT, 171 Seiten, 90 Bilder, 5 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-365-8.

Band 251: Alexander Kühl
Flexible Automatisierung der
Statorenmontage mit Hilfe einer
universellen ambidexteren Kinematik
FAPS, 142 Seiten, 60 Bilder, 26 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-367-2.

Band 252: Thomas Albrecht
Optimierte Fertigungstechnologien
für Rotoren getriebeintegrierter
PM-Synchronmotoren von
Hybridfahrzeugen
FAPS, 198 Seiten, 130 Bilder, 38 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-368-9.

Band 253: Florian Risch
Planning and Production Concepts for
Contactless Power Transfer Systems for
Electric Vehicles
FAPS, 185 Seiten, 125 Bilder, 13 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-369-6.

Band 254: Markus Weigl
Laserstrahlschweißen von Mischverbindungen aus austenitischen und ferritischen korrosionsbeständigen Stahlwerkstoffen
LPT, 184 Seiten, 110 Bilder, 6 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-370-2.

Band 255: Johannes Noneder
Beanspruchungserfassung für die Validierung von FE-Modellen zur Auslegung von Massivumformwerkzeugen
LFT, 161 Seiten, 65 Bilder, 14 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-371-9.

Band 256: Andreas Reinhardt
Ressourceneffiziente Prozess- und Produktionstechnologie für flexible Schaltungsträger
FAPS, 123 Seiten, 69 Bilder, 19 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-373-3.

Band 257: Tobias Schmuck
Ein Beitrag zur effizienten Gestaltung globaler Produktions- und Logistiknetzwerke mittels Simulation
FAPS, 151 Seiten, 74 Bilder. 2014.
ISBN 978-3-87525-374-0.

Band 258: Bernd Eichenhüller
Untersuchungen der Effekte und Wechselwirkungen charakteristischer Einflussgrößen auf das Umformverhalten bei Mikroumformprozessen
LFT, 127 Seiten, 29 Bilder, 9 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-375-7.

Band 259: Felix Lütteke
Vielseitiges autonomes Transportsystem basierend auf Weltmodellerstellung mittels Datenfusion von Deckenkameras und Fahrzeugsensoren
FAPS, 152 Seiten, 54 Bilder, 20 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-376-4.

Band 260: Martin Grüner
Hochdruck-Blechumformung mit formlos festen Stoffen als Wirkmedium
LFT, 144 Seiten, 66 Bilder, 29 Tab. 2014.
ISBN 978-3-87525-379-5.

Band 261: Christian Brock
Analyse und Regelung des Laserstrahltiefschweißprozesses durch Detektion der Metaldampffackelposition
LPT, 126 Seiten, 65 Bilder, 3 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-380-1.

Band 262: Peter Vatter
Sensitivitätsanalyse des 3-Rollen-Schubbiegens auf Basis der Finite Elemente Methode
LFT, 145 Seiten, 57 Bilder, 26 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-381-8.

Band 263: Florian Klämpfl
Planung von Laserbestrahlungen durch simulationsbasierte Optimierung
LPT, 169 Seiten, 78 Bilder, 32 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-384-9.

Band 264: Matthias Domke
Transiente physikalische Mechanismen
bei der Laserablation von dünnen
Metallschichten
LPT, 133 Seiten, 43 Bilder, 3 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-385-6.

Band 265: Johannes Götz
Community-basierte Optimierung des
Anlagenengineerings
FAPS, 177 Seiten, 80 Bilder, 30 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-386-3.

Band 266: Hung Nguyen
Qualifizierung des Potentials von
Verfestigungseffekten zur Erweiterung
des Umformvermögens aushärtbarer
Aluminiumlegierungen
LFT, 137 Seiten, 57 Bilder, 16 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-387-0.

Band 267: Andreas Kuppert
Erweiterung und Verbesserung von Ver-
suchs- und Auswertetechniken für die
Bestimmung von Grenzformänderungs-
kurven
LFT, 138 Seiten, 82 Bilder, 2 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-388-7.

Band 268: Kathleen Klaus
Erstellung eines Werkstofforientierten
Fertigungsprozessfensters zur Steigerung
des Formgebungsvermögens von Alumi-
niumlegierungen unter Anwendung einer
zwischen geschalteten Wärmebehandlung
LFT, 154 Seiten, 70 Bilder, 8 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-391-7.

Band 269: Thomas Svec
Untersuchungen zur Herstellung von
funktionsoptimierten Bauteilen im
partiellen Presshärtprozess mittels lokal
unterschiedlich temperierter Werkzeuge
LFT, 166 Seiten, 87 Bilder, 15 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-392-4.

Band 270: Tobias Schrader
Grundlegende Untersuchungen zur
Verschleißcharakterisierung beschichte-
ter Kaltmassivumformwerkzeuge
LFT, 164 Seiten, 55 Bilder, 11 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-393-1.

Band 271: Matthäus Brela
Untersuchung von Magnetfeld-Messme-
thoden zur ganzheitlichen Wertschöp-
fungsoptimierung und Fehlerdetektion
an magnetischen Aktoren
FAPS, 170 Seiten, 97 Bilder, 4 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-394-8.

Band 272: Michael Wieland
Entwicklung einer Methode zur Prognose
adhäsiven Verschleißes an Werkzeugen
für das direkte Presshärten
LFT, 156 Seiten, 84 Bilder, 9 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-395-5.

Band 273: René Schramm
Strukturierte additive Metallisierung
durch kaltaktives
Atmosphärendruckplasma
FAPS, 136 Seiten, 62 Bilder, 15 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-396-2.

Band 274: Michael Lechner
Herstellung beanspruchungsangepasster
Aluminiumblechhalbzeuge durch
eine maßgeschneiderte Variation der
Abkühlgeschwindigkeit nach
Lösungsglühen
LFT, 136 Seiten, 62 Bilder, 15 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-397-9.

Band 275: Kolja Andreas
Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit
auf das Werkzeugeinsatzverhalten beim
Kaltfließpressen
LFT, 169 Seiten, 76 Bilder, 4 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-398-6.

Band 276: Marcus Baum
Laser Consolidation of ITO Nanoparticles
for the Generation of Thin Conductive
Layers on Transparent Substrates
LPT, 158 Seiten, 75 Bilder, 3 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-399-3.

Band 277: Thomas Schneider
Umformtechnische Herstellung
dünnwandiger Funktionsbauteile
aus Feinblech durch Verfahren der
Blechmassivumformung
LFT, 188 Seiten, 95 Bilder, 7 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-401-3.

Band 278: Jochen Merhof
Sematische Modellierung automatisierter
Produktionssysteme zur Verbesserung
der IT-Integration zwischen Anlagen-
Engineering und Steuerungsebene
FAPS, 157 Seiten, 88 Bilder, 8 Tab. 2015.
ISBN 978-3-87525-402-0.

Band 279: Fabian Zöller
Erarbeitung von Grundlagen zur
Abbildung des tribologischen Systems
in der Umformsimulation
LFT, 126 Seiten, 51 Bilder, 3 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-403-7.

Band 280: Christian Hezler
Einsatz technologischer Versuche zur
Erweiterung der Versagensvorhersage
bei Karosseriebauteilen aus höchstfesten
Stählen
LFT, 147 Seiten, 63 Bilder, 44 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-404-4.

Band 281: Jochen Böning
Integration des Systemverhaltens von
Automobil-Hochvoltleitungen in die
virtuelle Absicherung durch
strukturmechanische Simulation
FAPS, 177 Seiten, 107 Bilder, 17 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-405-1.

Band 282: Johannes Kohl
Automatisierte Datenerfassung für disk-
ret ereignisorientierte Simulationen in
der energieflexiblen Fabrik
FAPS, 160 Seiten, 80 Bilder, 27 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-406-8.

Band 283: Peter Bechtold
Mikroschockwellenumformung mittels
ultrakurzer Laserpulse
LPT, 155 Seiten, 59 Bilder, 10 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-407-5.

Band 284: Stefan Berger
Laserstrahlschweißen thermoplastischer
Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe mit
spezifischem Zusatzdraht
LPT, 118 Seiten, 68 Bilder, 9 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-408-2.

Band 285: Martin Bornschlegl
Methods-Energy Measurement - Eine
Methode zur Energieplanung für
Fügeverfahren im Karosseriebau
FAPS, 136 Seiten, 72 Bilder, 46 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-409-9.

Band 286: Tobias Rackow
Erweiterung des Unternehmenscontrol-
lings um die Dimension Energie
FAPS, 164 Seiten, 82 Bilder, 29 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-410-5.

Band 287: Johannes Koch
Grundlegende Untersuchungen zur
Herstellung zyklisch-symmetrischer
Bauteile mit Nebenformelementen durch
Blechmassivumformung
LFT, 125 Seiten, 49 Bilder, 17 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-411-2.

Band 288: Hans Ulrich Vierzigmann
Beitrag zur Untersuchung der
tribologischen Bedingungen in der
Blechmassivumformung - Bereitstellung
von tribologischen Modellversuchen und
Realisierung von Tailored Surfaces
LFT, 174 Seiten, 102 Bilder, 34 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-412-9.

Band 289: Thomas Senner
Methodik zur virtuellen Absicherung
der formgebenden Operation des
Nasspressprozesses von
Gelege-Mehrschichtverbunden
LFT, 156 Seiten, 96 Bilder, 21 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-414-3.

Band 290: Sven Kreitlein
Der grundoperationsspezifische
Mindestenergiebedarf als Referenzwert
zur Bewertung der Energieeffizienz in
der Produktion
FAPS, 185 Seiten, 64 Bilder, 30 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-415-0.

Band 291: Christian Roos
Remote-Laserstrahlschweißen verzinkter
Stahlbleche in Kehlnahtgeometrie
LPT, 123 Seiten, 52 Bilder, 0 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-416-7.

Band 292: Alexander Kahrmanidis
Thermisch unterstützte Umformung von
Aluminiumblechen
LFT, 165 Seiten, 103 Bilder, 18 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-417-4.

Band 293: Jan Tremel
Flexible Systems for Permanent
Magnet Assembly and Magnetic Rotor
Measurement / Flexible Systeme zur
Montage von Permanentmagneten und
zur Messung magnetischer Rotoren
FAPS, 152 Seiten, 91 Bilder, 12 Tab. 2016.
ISBN 978-3-87525-419-8.

Band 294: Ioannis Tsoupis
Schädigungs- und Versagensverhalten
hochfester Leichtbauwerkstoffe unter
Biegebeanspruchung
LFT, 176 Seiten, 51 Bilder, 6 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-420-4.

Band 295: Sven Hildering
Grundlegende Untersuchungen zum
Prozessverhalten von Silizium als
Werkzeugwerkstoff für das
Mikroscherschneiden metallischer Folien
LFT, 177 Seiten, 74 Bilder, 17 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-422-8.

Band 296: Sasia Mareike Hertweck
Zeitliche Pulsformung in der
Lasermikromaterialbearbeitung –
Grundlegende Untersuchungen und
Anwendungen
LPT, 146 Seiten, 67 Bilder, 5 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-423-5.

Band 297: Paryanto
Mechatronic Simulation Approach for
the Process Planning of Energy-Efficient
Handling Systems
FAPS, 162 Seiten, 86 Bilder, 13 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-424-2.

Band 298: Peer Stenzel
Großserientaugliche Nadelwickeltechnik
für verteilte Wicklungen im
Anwendungsfall der E-Traktionsantriebe
FAPS, 239 Seiten, 147 Bilder, 20 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-425-9.

Band 299: Mario Lušić
Ein Vorgehensmodell zur Erstellung
montageführender Werkerinformations-
systeme simultan zum
Produktentstehungsprozess
FAPS, 174 Seiten, 79 Bilder, 22 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-426-6.

Band 300: Arnd Buschhaus
Hochpräzise adaptive Steuerung und
Regelung robotergeführter Prozesse
FAPS, 202 Seiten, 96 Bilder, 4 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-427-3.

Band 301: Tobias Laumer
Erzeugung von thermoplastischen
Werkstoffverbunden mittels simultanem,
intensitätsselektivem
Laserstrahlschmelzen
LPT, 140 Seiten, 82 Bilder, 0 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-428-0.

Band 302: Nora Unger
Untersuchung einer thermisch unter-
stützten Fertigungskette zur Herstellung
umgeformter Bauteile aus der höherfes-
ten Aluminiumlegierung EN AW-7020
LFT, 142 Seiten, 53 Bilder, 8 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-429-7.

Band 303: Tommaso Stellan
Design of Manufacturing Processes for
the Cold Bulk Forming of Small Metal
Components from Metal Strip
LFT, 146 Seiten, 67 Bilder, 7 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-430-3.

Band 304: Bassim Bachy
Experimental Investigation, Modeling,
Simulation and Optimization of Molded
Interconnect Devices (MID) Based on
Laser Direct Structuring (LDS) / Experi-
mentelle Untersuchung, Modellierung,
Simulation und Optimierung von Molded
Interconnect Devices (MID) basierend
auf Laser Direktstrukturierung (LDS)
FAPS, 168 Seiten, 120 Bilder, 26 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-431-0.

Band 305: Michael Spahr
Automatisierte Kontaktierungsverfahren
für flachleiterbasierte
Pkw-Bordnetzsysteme
FAPS, 197 Seiten, 98 Bilder, 17 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-432-7.

Band 306: Sebastian Suttner
Charakterisierung und Modellierung
des spannungszustandsabhängigen
Werkstoffverhaltens der Magnesium-
legierung AZ31B für die numerische
Prozessauslegung
LFT, 150 Seiten, 84 Bilder, 19 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-433-4.

Band 307: Bhargav Potdar
A reliable methodology to deduce
thermo-mechanical flow behaviour of
hot stamping steels
LFT, 203 Seiten, 98 Bilder, 27 Tab. 2017.
ISBN 978-3-87525-436-5.

Band 308: Maria Löffler
Steuerung von Blechmassivumformpro-
zessen durch maßgeschneiderte
tribologische Systeme
LFT, viii u. 166 Seiten, 90 Bilder, 5 Tab.
2018. ISBN 978-3-96147-133-1.

Band 309: Martin Müller
Untersuchung des kombinierten Trenn-
und Umformprozesses beim Fügen art-
ungleicher Werkstoffe mittels
Schneidclinchverfahren
LFT, xi u. 149 Seiten, 89 Bilder, 6 Tab.
2018. ISBN: 978-3-96147-135-5.

Band 310: Christopher Kästle
Qualifizierung der Kupfer-Drahtbond-
technologie für integrierte Leistungs-
module in harschen Umgebungs-
bedingungen
FAPS, xii u. 167 Seiten, 70 Bilder, 18 Tab.
2018. ISBN 978-3-96147-145-4.

Band 311: Daniel Vipavc
Eine Simulationsmethode für das
3-Rollen-Schubbiegen
LFT, xiii u. 121 Seiten, 56 Bilder, 17 Tab.
2018. ISBN 978-3-96147-147-8.

Band 312: Christina Ramer
Arbeitsraumüberwachung und autonome
Bahnplanung für ein sicheres und
flexibles Roboter-Assistenzsystem
in der Fertigung
FAPS, xiv u. 188 Seiten, 57 Bilder, 9 Tab.
2018. ISBN 978-3-96147-153-9.

Band 313: Miriam Rauer
Der Einfluss von Poren auf die
Zuverlässigkeit der Lötverbindungen
von Hochleistungs-Leuchtdioden
FAPS, xii u. 209 Seiten, 108 Bilder, 21 Tab.
2018. ISBN 978-3-96147-157-7.

Band 314: Felix Tenner

Kamerabasierte Untersuchungen der Schmelze und Gasströmungen beim Laserstrahlschweißen verzinkter Stahlbleche

LPT, xxiii u. 184 Seiten, 94 Bilder, 7 Tab.
2018. ISBN 978-3-96147-160-7.

Band 315: Aarief Syed-Khaja

Diffusion Soldering for High-temperature Packaging of Power Electronics

FAPS, x u. 202 Seiten, 144 Bilder, 32 Tab.
2018. ISBN 978-3-87525-162-1.

Band 316: Adam Schaub

Grundlagenwissenschaftliche Untersuchung der kombinierten Prozesskette aus Umformen und Additive Fertigung

LFT, xi u. 192 Seiten, 72 Bilder, 27 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-166-9.

Band 317: Daniel Gröbel

Herstellung von Nebenformelementen unterschiedlicher Geometrie an Blechen mittels Fließpressverfahren der Blechmassivumformung

LFT, x u. 165 Seiten, 96 Bilder, 13 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-168-3.

Band 318: Philipp Hildenbrand

Entwicklung einer Methodik zur Herstellung von Tailored Blanks mit definierten Halbzeugeigenschaften durch einen Taumelprozess

LFT, ix u. 153 Seiten, 77 Bilder, 4 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-174-4.

Band 319: Tobias Konrad

Simulative Auslegung der Spann- und Fixierkonzepte im Karosserierohrbau: Bewertung der Baugruppenmaßhaltigkeit unter Berücksichtigung schwankender Einflussgrößen

LFT, x u. 203 Seiten, 134 Bilder, 32 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-176-8.

Band 320: David Meinel

Architektur applikationsspezifischer Multi-Physics-Simulationskonfiguratoren am Beispiel modularer Triebzüge

FAPS, xii u. 166 Seiten, 82 Bilder, 25 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-184-3.

Band 321: Andrea Zimmermann

Grundlegende Untersuchungen zum Einfluss fertigungsbedingter Eigenschaften auf die Ermüdungsfestigkeit kaltmassivumgeformter Bauteile

LFT, ix u. 160 Seiten, 66 Bilder, 5 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-190-4.

Band 322: Christoph Amann

Simulative Prognose der Geometrie nassgepresster Karosseriebauteile aus Gelege-Mehrschichtverbunden

LFT, xvi u. 169 Seiten, 80 Bilder, 13 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-194-2.

Band 323: Jennifer Tenner

Realisierung schmierstofffreier Tiefziehprozesse durch maßgeschneiderte Werkzeugoberflächen

LFT, x u. 187 Seiten, 68 Bilder, 13 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-196-6.

Band 324: Susan Zöller

Mapping Individual Subjective Values to Product Design

KTmfk, xi u. 223 Seiten, 81 Bilder, 25 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-202-4.

Band 325: Stefan Lutz

Erarbeitung einer Methodik zur semiempirischen Ermittlung der Umwandlungskinetik durchhärtender Wälzlagerstähle für die Wärmebehandlungssimulation

LFT, xiv u. 189 Seiten, 75 Bilder, 32 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-209-3.

Band 326: Tobias Gnihl

Modellbasierte Prozesskettenabbildung rührreibgeschweißter Aluminiumhalbzeuge zur umformtechnischen Herstellung höchstfester Leichtbauteile

LFT, xii u. 167 Seiten, 68 Bilder, 17 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-217-8.

Band 327: Johannes Bürner

Technisch-wirtschaftliche Optionen zur Lastflexibilisierung durch intelligente elektrische Wärmespeicher

FAPS, xiv u. 233 Seiten, 89 Bilder, 27 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-219-2.

Band 328: Wolfgang Böhm

Verbesserung des Umformverhaltens von mehrlagigen Aluminiumblechwerkstoffen mit ultrafeinkörnigem Gefüge

LFT, ix u. 160 Seiten, 88 Bilder, 14 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-227-7.

Band 329: Stefan Landkammer

Grundsatzuntersuchungen, mathematische Modellierung und Ableitung einer Auslegungsmethodik für Gelenkantriebe nach dem Spinnenbeinprinzip

LFT, xii u. 200 Seiten, 83 Bilder, 13 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-229-1.

Band 330: Stephan Rapp

Pump-Probe-Ellipsometrie zur Messung transienter optischer Materialeigenschaften bei der Ultrakurzpuls-Lasermaterialbearbeitung

LPT, xi u. 143 Seiten, 49 Bilder, 2 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-235-2.

Band 331: Michael Scholz

Intralogs Execution System mit integrierten autonomen, servicebasierten Transportentitäten

FAPS, xi u. 195 Seiten, 55 Bilder, 11 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-237-6.

Band 332: Eva Bogner

Strategien der Produktindividualisierung in der produzierenden Industrie im Kontext der Digitalisierung

FAPS, ix u. 201 Seiten, 55 Bilder, 28 Tab.
2019. ISBN 978-3-96147-246-8.

Produzierende Unternehmen sehen sich in den vergangenen Jahren generell gezwungen, durch immer individuellere Kundenanforderungen eine steigende Anzahl an unterschiedlichen Produkten bzw. Produktvarianten anzubieten. Im Kontext der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung in der Produktion, die unter dem Begriff Industrie 4.0 propagiert wird, gewinnt das Thema Produktindividualisierung aufgrund neuer technologischer Möglichkeiten zusätzlich an Bedeutung. Bestehende Zusammenhänge werden allerdings nur unzureichend aufgezeigt, wodurch eine detaillierte Betrachtung fehlt.

Ziel der Arbeit ist es, eine strukturierte Beschreibung der Anforderungen und der Umsetzungsmöglichkeiten von Produktindividualisierung über die produzierende Industrie hinweg zu entwickeln. Dazu gilt es zunächst, die Produktindividualisierung innerhalb der produzierenden Industrie in Bezug auf verschiedene Branchen und Produkte zu analysieren.

Ausgehend von dieser Betrachtung wird das Produktindividualisierungs-Produktionsstrategie-Modell (PIPS-Modell) entwickelt, welches die verschiedenen Möglichkeiten der Produktindividualisierung sowie deren wesentliche Perspektiven strukturiert und erläutert. Gleichzeitig zeigt das PIPS-Modell auf, welche Anforderungen sich daraus für die Produkt- und Prozessgestaltung, die Produktion sowie die Schnittstelle zum Kunden ergeben. Durch die Einordnung von Fallbeispielen in das Modell, können Fragen im Hinblick auf eine strategische Weiterentwicklung von vorhandenen Ansätzen der Produktindividualisierung abgeleitet werden.

Darüber hinaus wird im Rahmen der Arbeit aufgezeigt, welche Rolle die Produktindividualisierung im Zukunftsbild der Industrie 4.0 einnimmt und wie deren Umsetzung durch neue Technologien in diesem Umfeld unterstützt wird.

