

**Gestaltung und Bewertung von Baukastensystemen  
für modulare Produktionsstrukturen**

- Eine theoretische und empirische Analyse –

Sebastian Eckert

Sebastian Eckert

**Gestaltung und Bewertung von Baukastensystemen  
für modulare Produktionsstrukturen**

- Eine theoretische und empirische Analyse –

Copyright by TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG

1. Auflage 2019

Sebastian Eckert

**Gestaltung und Bewertung von Baukastensystemen  
für modulare Produktionsstrukturen**

- Eine theoretische und empirische Analyse –

München: TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG

ISBN: 978-3-947730-11-7

Bibliographische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind online abrufbar.

Verlag:

TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, München

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, sind dem Verlag vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form, auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet werden.

## Geleitwort

Die Herausforderungen kundenindividuell zu produzieren, kürzeren Innovationszyklen gerecht zu werden, schwer prognostizierbare Volatilität in Nachfragemustern zu antizipieren und die Produkte bei wettbewerbsfähigen Produktionskosten auf unterschiedlichen lokalen Märkten abzusetzen, zwingt Unternehmen zu innovativen Produktionskonzepten. Der Arbeit von Herrn Eckert liegt die Überzeugung zu Grunde, dass die Modularisierung in der Produktion als Instrument genau diesem Anspruch gerecht werden kann, wenn es von Unternehmen anforderungsgerecht genutzt wird.

Herr Eckert stellt die Probleme der Unternehmen bei der Interpretation und Umsetzung der Modularisierungstheorie in den Vordergrund seiner Überlegungen. Der Mehrwert der Modularisierung für ein Unternehmen hängt von zwei Aspekten ab. Zunächst müssen die allgemeingültigen Richtlinien, die dem Modularisierungsgedanken innewohnen, in eine Systematik unternehmensspezifischer Modularisierungsstrategien für die Produktion überführt werden. Diese Modularisierungsstrategien sind dann unter der Berücksichtigung der situativen Erfordernisse im Unternehmen entlang anlagen-, prozess-, und struktureller Dimensionen zu konkreten Umsetzungsalternativen auszugestalten und zu bewerten. Hier setzt Herr Eckert mit seiner Untersuchung an und entwickelt ein zweistufiges Modell. Die erste Stufe des Modells stellt eine strategische Ebene dar und damit einen Ordnungsrahmen für Baukastensysteme, welcher sich zur Konkretisierung der wichtigsten Entscheidungsfelder durch praxisnahe Ausprägungen eignet. Dadurch schafft es der Verfasser, im Sinne der Unternehmen, die Gesamtkomplexität durch Zerlegung in handhabbare Teilprobleme zu reduzieren. Die im Rahmen der empirischen Fallstudienanalyse auf der Basis von Best-Practice-Analysen gewonnenen Erkenntnisse befähigen zur Identifikation von kontextspezifischen Gestaltungsempfehlungen. Die zweite Stufe des Modells stellt ein Kalkulationsinstrument dar, welches auf der Basis konkreter Expertenforderungen entwickelt wurde. Dieses Instrument ermöglicht den Unternehmen die monetäre und ganzheitliche Bewertung verschiedener Modularisierungsszenarien.

Die Arbeit besticht durch die Entwicklung eines innovativen Ansatzes zur Modularisierung von Produktionsstrukturen an der Schnittstelle zwischen Technik und Betriebswirtschaft. Insbesondere die konsequente Ausrichtung der Arbeit an der Ergebnisverwertbarkeit für die betriebliche Praxis ist als Alleinstellungsmerkmal zu würdigen.

Der Veröffentlichung liegt eine Dissertation an der Technischen Universität München zugrunde. Die Arbeit richtet sich an all diejenigen aus Wissenschaft und Unternehmenspraxis, die sich mit dem Themenfeld der Modularisierung im Kontext der Produktionsplanung und -gestaltung auseinandersetzen.

München, 18.03.2019

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

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung .....	5
1.2	Stand der Forschung.....	10
1.2.1	Arbeiten zur Beschreibung technischer Baukastensysteme .....	16
1.2.2	Arbeiten zur Umsetzung modularer Produktionsstrukturen.....	18
1.3	Zielsetzung und Vorgehensweise .....	26
<b>2</b>	<b>Theoretischer und konzeptioneller Bezugsrahmen .....</b>	<b>33</b>
2.1	Die Fertigungssegmentierung als Gestaltungsansatz .....	34
2.2	Baukastensysteme als Gestaltungsansatz.....	43
2.3	Die Modularisierungstheorie als Gestaltungsansatz.....	50
2.4	Die modulare Produktion als Betrachtungsgegenstand.....	61
2.4.1	Charakterisierung der modularen Produktion.....	61
2.4.2	Ziele der modularen Gestaltung in der Produktion .....	63
2.4.3	Potenziale und Risiken der modularen Produktion.....	65
2.5	Zusammenfassung.....	78
<b>3</b>	<b>Modell zur Gestaltung von Baukastensystemen in der modularen Produktion.....</b>	<b>82</b>
3.1	Forschungsdesign .....	83
3.2	Datenbasis und Erhebungsmethodik.....	85
3.3	Modellanforderungen .....	90
3.4	Zusammenfassung.....	97
<b>4</b>	<b>Darstellung des Gestaltungsraumes .....</b>	<b>99</b>
4.1	Vorgehensweise zur Entwicklung der Gestaltungsvariablen .....	99
4.2	Gestaltungsfeld 1: Normierungsgrad.....	101
4.1	Gestaltungsfeld 2: Entscheidungscentralisierung.....	109
4.2	Gestaltungsfeld 3: Kapazitätsbindung des Baukastenmanagements.....	112
4.3	Zusammenfassung.....	120
<b>5</b>	<b>Darstellung der Einflussgrößen.....</b>	<b>122</b>

---

5.1	Vorgehensweise zur Ableitung der Einflussgrößen .....	123
5.2	Erläuterung der Einzeleinflussgrößen.....	126
5.3	Clusterung der Einzeleinflussgrößen.....	140
5.4	Zusammenfassung.....	145
<b>6</b>	<b>Empirische Ausprägungsanalyse .....</b>	<b>147</b>
6.1	Fallstudienanalysen.....	147
6.2	Erkenntnisse aus der Fallstudienanalyse .....	186
6.2.1	Erkenntnisse zum Modell .....	188
6.2.2	Einflussgrößenunabhängige Gestaltungsempfehlungen .....	196
6.2.3	Einflussgrößenabhängige Gestaltungsempfehlungen .....	201
6.2.4	Gestaltungsraumübergreifende Erkenntnisse .....	218
6.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse .....	222
<b>7</b>	<b>Entwicklung eines Bewertungsinstrumentes.....</b>	<b>229</b>
7.1	Anforderungen an das Bewertungsinstrument .....	230
7.2	Analyse von bestehenden Bewertungsverfahren .....	235
7.3	Vorstellung des Kalkulationsmodells .....	240
7.1	Exemplarische Anwendung des Kalkulationsmodells.....	250
7.2	Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse.....	262
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>265</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>278</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Das Produktionsmanagement der verarbeitenden Industrie steht vor einer radikalen Entwicklungsstufe. Der Grenznutzen herkömmlicher, inkrementeller Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung sinkt zunehmend. Die Vernetzung von Märkten und beständig sinkende Produktlebenszyklen, schwankende Nachfragezahlen und die zunehmende Modellvielfalt machen Märkte schwer kalkulierbar.<sup>1</sup> Gleichzeitig steigt der Kostendruck.<sup>2</sup> Der globalisierte Wettbewerb verlangt den Unternehmen aufgrund der gegenwärtigen Trends ein hohes Maß an Aktivitäten zur Optimierung der Kostenbasis ab.<sup>3</sup> Die Konsequenz für produzierende Unternehmen ist klar. Sie müssen immer schneller auf Veränderungen reagieren, das eigene Produktionssystem flexibel an die neuen Anforderungen anpassen, dazu Kostenführer sein und die unterschiedlichen Märkte mit kundenindividuellen Produkten bedienen.<sup>4</sup> Es entsteht ein Zielkonflikt aus Effizienz und Flexibilität.<sup>5</sup> Eine Herausforderung der globalen Produktion ist der größere Wettbewerbsdruck, da Unternehmen mit einer Erhöhung der Produkt- und Variantenvielfalt bei gleichzeitiger Erhöhung der Funktionskomplexität reagieren müssen.<sup>6</sup> Eine steigende Dynamik und eine steigende Prognoseunschärfe bei Marktanforderungen, getrieben durch heterogene Märkte und den technologischen Fortschritt, erhöhen die Taktzeit von Wertschöpfungsketten. Der technische Fortschritt und das Zusammenwachsen der Märkte führen dazu, dass Unternehmen sich dazu gezwungen sehen, in immer kürzeren Zeitabschnitten neue Produktvarianten auf unterschiedlichen Märkten anzubieten, um der Heterogenität der Kundenbedürfnisse gerecht zu werden.<sup>7</sup> Die hohen spezifischen Ansprüche der Kunden, die damit einhergehende steigende Variantenvielfalt der Produkte und die immer kürzeren Entwicklungszeiten führen zu einem exponentiellen Anstieg der Komplexität.<sup>8</sup> Ebenso

---

<sup>1</sup> Vgl. Nyhuis (2008), S.13

<sup>2</sup> Vgl. Wildemann (2017b), S.2 ff.

<sup>3</sup> Vgl. Bauernhansel/Hompel/Vogel-Heuser (2014), S.33 sowie Spath et al. (2013) und Pasche/Person/Löfsten (2011), S.1144

<sup>4</sup> Vgl. Wildemann (2008), S.15

<sup>5</sup> Vgl. Wildemann/Waitl (2014b), S.10

<sup>6</sup> Vgl. Schuh (2004), S.1 ff.

<sup>7</sup> Vgl. Rogers/Bottaci (1997), S. 147

<sup>8</sup> Vgl. Bayer (2010), S.2, vgl. Schuh (2013), S.29

steigen die Auslandsumsätze stetig.<sup>9</sup> Als Konsequenz kann ein enormer Wandlungsdruck auf allen Ebenen der Unternehmen festgestellt werden, der so bisher nicht vorgeherrscht hat.<sup>10</sup> Die Herausforderungen

- kundenindividuell zu produzieren,
- kürzeren Innovationszyklen gerecht zu werden,
- schwer prognostizierbare Volatilität in Nachfragemustern zu antizipieren und
- die Produkte bei wettbewerbsfähigen Produktionskosten auf unterschiedlichen lokalen Märkten abzusetzen,

zwingen Unternehmen zu innovativen Produktionskonzepten.<sup>11</sup> Die Produktion muss zu kapitalarmem Wachstum fähig sein, um sich mit atmenden Produktionskapazitäten den Unwägbarkeiten der Zukunft entgegenstellen zu können.<sup>12</sup> Vor dem Hintergrund eines hohen Anteils manueller Tätigkeiten im Produktionsprozess zeichnet sich der klassische Zielkonflikt zwischen Effizienz und Flexibilität ab.<sup>13</sup> Der diametrale Zielkonflikt aus Kostenoptimierung und Produktdiversifizierung formt den Gestaltungsbereich aller Unternehmungen in der industriellen Produktion.<sup>14</sup>

Besonders die Ziele, welche im Zusammenhang mit der vierten industriellen Revolution verfolgt werden, bringen hohe Anforderungen an zukünftige Produktionssysteme mit sich.<sup>15</sup> Die vom Bildungsministerium unterstützte Arbeitsgruppe kommt in ihrem Abschlussbericht zum Ergebnis, dass die Modularisierung in der Produktion einen der Grundpfeiler zur Umsetzung der „Industrie 4.0“ bildet.<sup>16</sup> Die Zukunftspotenziale, welche üblicherweise unter dem Begriff Industrie 4.0 aggregiert werden, verlangen als Grundlage anforderungsgerechte und klar definierte Referenzarchitekturen im Produktionssystem, um die Fähigkeit zur Vernetzung und Integration der gesamten Wertschöpfungskette und die Entwicklung in Richtung Industrie 4.0 sicherzustellen.<sup>17</sup> Der Anwendung von modulorientierten Gestaltungsprinzipien in der Produktion nimmt im Zuge der vierten industriellen Evolution eine zentrale Schlüsselrolle ein. Unter dem Begriff „Industrie 4.0“ werden die intelligente Vernetzung von Produkten, Komponenten und Maschinen entlang der Werkschöpfungsstufen sowie die autonome, regelbasierte Entscheidungsfindung und

---

<sup>9</sup> Vgl. Linner (2002), S.4.2, Frese (1998), S.295ff., vgl. ebenso Schuh (2004), S.1

<sup>10</sup> Vgl. Wiendahl et al. (2005), S.8

<sup>11</sup> Vgl. Wildemann (2008), S.10 f., vgl. Manschwetus/Rumler (2002), S.146 f.

<sup>12</sup> Vgl. Brauckmann (2015), S.73

<sup>13</sup> Vgl. Walzl/Wildemann (2014), S. 10

<sup>14</sup> Vgl. Wildemann (2018d), S.5 ff.

<sup>15</sup> Vgl. Wildemann (2017b), S.7 ff.

<sup>16</sup> Vgl. Kagermann/Wahlster/Helbig (2013), S.30

<sup>17</sup> Vgl. Theisinger et al. (2015), S.26



Steuerung einzelner Wertschöpfungsfunktionen auf Basis einer umfassenden Datenerhebung innerhalb eines Unternehmens verstanden.<sup>18</sup> Intelligente Sensorik- und Kommunikationssysteme führen zur Vernetzung von Maschinen und Produkten noch während des Produktionsprozesses.<sup>19</sup> Durch eine Umsetzung dieser Evolution in der Produktion wird eine weitere Senkung der Kosten, bei gleichzeitiger Steigerung der Flexibilität und stabilerer Qualität erreichbar.<sup>20</sup> Es besteht so in etwa die Möglichkeit, über Echtzeitdatenerfassung Kundensignale als Taktgeber in die Produktion zu leiten. Um diese Potenziale im Produktionsumfeld zu heben sind drei Voraussetzungen zu erfüllen. Zunächst müssen die im Produktionsumfeld relevanten Daten erfasst werden. Danach müssen diese Daten in der Form ausgewertet werden, dass robuste Schlussfolgerungen hinsichtlich einer wertstiftenden Ressourcenallokation in der Produktion getroffen werden können. Der Schlüssel zur tatsächlichen Realisierung dieser Potenziale liegt jedoch im Produktionssystem. Dieses muss geeignet sein, die hohen Anforderungen nach Flexibilität, Selbstregelung und den neuen Steuerungsprinzipien erfüllen zu können. Durch Industrie 4.0 Innovationen verschiebt sich die zentrale, deterministische Produktionsplanung und Disposition zunehmend zu einer regelbasierten, dezentralen Feinplanung, mit dem Ziel einer hohen Agilität, um auf ad-hoc Anforderungen reagieren zu können.<sup>21</sup> Um den Wertbeitrag der Industrie 4.0 Prinzipien tatsächlich in der Produktion zu realisieren sind zusätzlich eine ereignisgesteuerte, selbstregelnde Losgrößensteuerung, dezentrale Arbeitsvorbereitungsstationen durch die Informationsspeicherung direkt auf dem Werkstück oder dem Werkzeug, modulare Bearbeitungseinheiten und damit in Kombination stehende, standardisierte, rotierende Werkzeuge und Formteile als Voraussetzung in der Produktion erforderlich.<sup>22</sup>

Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist ein neues Ordnungssystem in der Produktion notwendig, welches die Grundlage für agile Strukturen und technologische Vernetzung sein kann. Die Modularisierung in der Produktion kann genau diese Anforderungen an ein Ordnungssystem erfüllen. Die erfolgreiche und anforderungsgerechte Anwendung modularer Gestaltungsprinzipien in der Produktion ist somit die Grundlage zur Umsetzung der individualisierten und hochflexiblen Modularisierung, welche im Rahmen der vierten industriellen Evolution das Zielbild darstellt.<sup>23</sup>

---

<sup>18</sup> Vgl. Kagermann et al. (2013), S.17

<sup>19</sup> Vgl. Handelsblatt (2017)

<sup>20</sup> Vgl. Sauter/Bode/Kittelberger (2015), S.3

<sup>21</sup> Vgl. ebd., S.8

<sup>22</sup> Vgl. ebd., S.8

<sup>23</sup> Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2013), S.13

Die Modularisierung lässt sich als sukzessive Unterteilung von Systemen in Grundbausteine verstehen, die je nach Situation und Aufgabe unterschiedlich kombiniert werden können.<sup>24</sup> Die Modularisierung in der Produktion muss dabei als strategisches Gestaltungsfeld interpretiert werden, in dem sich Unternehmen anforderungsgerecht zu bewegen haben. Es handelt sich nicht um ein binärdiskretes System, innerhalb dessen Grenzen eine Produktion entweder als modular oder als nicht modular klassifiziert werden kann. Vielmehr muss die Modularisierung als Gestaltungsrichtlinie erfasst werden, welche die Unternehmen zur Umsetzung eines passgenauen Konzeptes anleiten soll.<sup>25</sup> Der unternehmensindividuelle Erfolg hängt an der anforderungsgerechten Ausgestaltung.<sup>26</sup> Es gilt den Grenznutzen der Modularisierung zu berücksichtigen.<sup>27</sup> Der optimale Grad der Modularisierung ist vom Betrachtungsgegenstand und den Modularisierungstreibern abhängig. Es gibt keine geschlossene Theorie, welche die Treiber auf Produktionsmodule und die konkreten Gestaltungsvariablen einer daraus resultierenden modularen Architektur für Baukastensysteme voll umfänglich beschreibt. Es gilt, die Vor- und Nachteile je nach Anwendungsfall gegeneinander abzuwägen. Die Modularisierung der Produktion kann ohne einen systematischen Ansatz, welcher Aufwand und Nutzen in Abhängigkeit mit den Zielen und der individuellen Unternehmenssituation berücksichtigt, nicht systematisch zum Erfolg führen. Der Mehrwert der Modularisierung für ein Unternehmen hängt hier von zwei Aspekten ab. Zunächst müssen die allgemeingültigen Richtlinien, die dem Modularisierungsgedanken innewohnen, in eine Systematik unterschiedlicher Modularisierungsstrategien für die Produktion transferiert werden. Diese Modularisierungsstrategien sind dann unter der Berücksichtigung der situativen Erfordernisse im Unternehmen entlang anlagen-, prozess-, und strukturelevanter Dimensionen zu konkreten Umsetzungskonzepten auszugestalten.

Unternehmen sehen sich bei dem Wunsch, die Modularisierung im eigenen Unternehmen zu gestalten, mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert:

- Dem Begriff Modularisierung fehlt, ähnlich wie dem Begriff Industrie 4.0, ein einheitliches Begriffsverständnis. Er ist schwer greifbar. Längst nicht jede Praxisanwendung, die als modulares Konzept in der eigenen Produktionshalle verkauft wird, erfüllt auch tatsächlich die Anforderungen an modulare Gestaltung. Die alleinige Bezeichnung einer singulären Maschine als Modul reicht dabei nicht aus.

---

<sup>24</sup> Vgl. Alisch/Arentzen/Winter (2004), S.2073

<sup>25</sup> Vgl. Ulrich/Eppinger (2008), S.166

<sup>26</sup> Vgl. Schuh/Arnoscht/Nußbaum (2007), S.30 ff.

<sup>27</sup> Vgl. Schuh et al. (2004), S. 101

- Es stellt sich für Unternehmen die Frage, was eine Modularisierung konkret für den eigenen Anwendungsfall bedeutet und wie die modulare Idee die Gestaltung von Produktionsressourcen beeinflusst.
- Es stellt sich die Frage nach den organisatorischen und prozessbedingten Veränderungen, den Entscheidungsmöglichkeiten und einem Ordnungsrahmen, der die zu treffenden Entscheidungen konsolidiert.
- Es stellt sich ferner die Frage, wie ein modulares Baukastensystem im Unternehmen im Rahmen eines Managementsystems gesteuert werden kann.
- Es existiert zudem Unklarheit darüber, wie die Wirkkomplexe der Modularisierung in der Produktion zu berücksichtigen sind. Die Effekte der Modularisierung sind mehrdimensional hinsichtlich ihrer Wirkung und lassen sich in einmalige und laufende, in direkte und indirekte und quantifizierbare und nicht quantifizierbare Effekte gliedern. Ferner sind die Dimensionen Zeit, Qualität, Flexibilität und Risiko zu unterscheiden.<sup>28</sup>

Diese Komplexität fordert die Unternehmen bei einer grundsätzlichen Einschätzung des Wertbeitrages einer modularen Produktionsarchitektur heraus. Die Beurteilung dieser Wirkkomplexe vor dem Hintergrund der unternehmensindividuellen Situation erschwert diese Analyse.<sup>29</sup> Aufgrund der vielschichtigen Anwendbarkeit existiert keine allgemeingültige praxisorientierte Vorgehensweise zur Modulbildung, ebenso wenig wie eine geschlossene Modularisierungstheorie. Um die allgemeingültige Theorie für verschiedene technische Anwendungsfälle zu nutzen, wurde die Modularisierungstheorie seither in vielen Einzelarbeiten im Hinblick auf konkrete Fragestellungen in der Praxis konkretisiert.<sup>30</sup> STARR reflektiert das Feld der Modularisierung nach knapp 50 Jahren nach wie vor als zersplittertes Feld der Wissenschaft. Dennoch wurde die Idee der modularen Produktion seither in zahlreichen Praxisfällen zur erfolgreichen Anwendung geführt.<sup>31</sup>

Zwischen einer Überzeugung der Unternehmen, dass die Modularisierung einen wertvollen Beitrag zur Schaffung kosteneffizienter und dennoch anpassungsfähiger Produktionsstrukturen schaffen kann und einer weitreichenden, erfolgreichen und branchenübergreifenden Umsetzung dieser Idee in der betrieblichen Praxis stehen einige Forschungsfra-

---

<sup>28</sup> Vgl. Sedlmaier/Skirde (2013), S.35. Eine umfangreiche Übersicht zum Thema Marktrisiken findet sich bei Kaserer (2013), S.341 ff.

<sup>29</sup> Vgl. Kersten/Lammers/Skirde (2011), S.20

<sup>30</sup> Vgl. Ruppert (2007), S.12

<sup>31</sup> Doran/Starr (2010) reflektieren in ihrem Beitrag die Entwicklung der Modularen Produktion bezugnehmend auf die Hypothesen von Starr (1965) aus dem Jahre 1965.

gen. Folgende Forschungsfragen bilden den Kristallisationspunkt des Forschungsvorhabens, spiegeln die Motivation für diese Arbeit wieder und bilden die Grundlage für die zu erarbeitenden Erkenntnisse:

- Forschungsfrage 1: *Welche Ausprägungsformen der modularen Produktion existieren in der betrieblichen Praxis?*
- Forschungsfrage 2: *Welche Entscheidungsfelder sind bei der Einführung modularer Baukastensysteme bei der Produktion in der betrieblichen Praxis von Unternehmen von Bedeutung?*
- Forschungsfrage 3: *Wie lassen sich die Entscheidungsfelder bei der Einführung modularer Baukastensysteme in der Produktion innerhalb eines unternehmensübergreifenden Ordnungsrahmens operationalisieren?*
- Forschungsfrage 4: *Welche Einflussfaktoren sind bei der Gestaltung modularer Baukastensysteme in der Produktion zu berücksichtigen?*
- Forschungsfrage 5: *Welche unternehmensübergreifenden Empfehlungen lassen sich für die technische Auslegung von Baukastensystemen für modulare Produktionsstrukturen aussprechen?*
- Forschungsfrage 6: *Welche unternehmensübergreifenden Empfehlungen lassen sich für die organisatorische Verankerung von Baukastensystemen für modulare Produktionsstrukturen aussprechen?*
- Forschungsfrage 7: *Wie wirkt der Wertbeitrag des modularen Baukastenansatzes in der Produktion für das Gesamtunternehmen?*
- Forschungsfrage 8: *Welche konkrete Möglichkeit besteht zur gesamthaften und quantitativen Ermittlung des Wertbeitrages von Baukastenansätzen in der modularen Produktion?*

## **1.2 Stand der Forschung**

Die Entwicklung eines Modells zur Gestaltung und Bewertung von modularen Baukastensystemen in Produktionsnetzwerken lässt sich nicht eindeutig einer wissenschaftlichen Disziplin zuordnen. Zur Lösung der Problemfelder sind unterschiedliche Bereiche in der Betriebswirtschaftslehre heranzuziehen. Die zu untersuchenden Arbeiten reichen von unterschiedlichen Seiten an das Forschungsthema heran und sind somit zur Feststellung der Forschungslücke zu betrachten. Die relevante Literatur soll an dieser Stelle zur Vereinfachung der Analyse in drei Forschungsbereiche geclustert werden:

- 
- Beiträge zur quantitativen und qualitativen Bewertung von modularen Architekturen,
  - Beiträge zur praxisnahen Umsetzung segmentierter oder modularer Produktionsstrukturen,
  - Beiträge zur Beschreibung technischer Baukastensysteme

In Abbildung 1 sind die im Rahmen der Literaturanalyse näher untersuchten Arbeiten aus den vorgenannten Clustern und deren Beitrag zur Beantwortung der Forschungsfragen in einer Gesamtübersicht dargestellt. In den darauffolgenden Abschnitten werden die inhaltliche Ausrichtung der Arbeiten und der Beitrag der Arbeiten zur Beantwortung der Forschungsfragen clusterspezifisch näher diskutiert.

		Beitrag zur Beantwortung der Forschungsfragen								
		FF = Forschungsfrage								
		Autor	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8
Bewertung modularer Architekturen	Caesar (1991)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Maier (1993)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Neumann (1996)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Meyer/ Lehnerd (1997)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Kota/ Sethuraman (1998)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Kidd (1998)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Erixon (1998)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Martin/ Ishii (2000)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Wilhelm (2001)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Sesterhenn (2003)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Wiendahl (2005)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Abele/Liebeck/Wörn (2006)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Heger (2007)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Lanza/Rühl/Peters (2010)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
Sedlmaier/ Skirde (2013)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	
Systematisierung Baukastensysteme	Ehrlenspiel (1995)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Pahl/Beitz (1993)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Piller/ Waringer (1999)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Gembrys (1997)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Kohlhase (1997)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Jeschke (1997)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Caesar (1991)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Schuh (1989)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Biegert (1971)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Borowski (1961)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
Umsetzung segmentierter oder modularer Produktionsstrukturen	Eversheim et al. (1981)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Warnecke (1992)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Wildemann (1998)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Förster (1999)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Dürschmidt (2001)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Neuhausen (2001)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Cisek et al. (2002)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Matt (2002)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Dietrich (2003)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Morales (2003)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Schenk/Wirth (2004)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Vielhaber (2004)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Wiendahl (2005)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Baumgart (2005)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Drabow (2006)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Heinecker (2006)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Möller (2008)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Boos (2008)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Kempf (2010)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
	Specht /Stefanska (2008)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉
Abele/ Korff/Wörn (2009)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	
Kluge/ Westkämper (2011)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	
Kreimeier/ Herrmann (2013)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	
Schröder et al. (2013)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	
Wildemann/Waltl (2014)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	
Wildemann (2016)	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	

● = hoher Beitrag

◐ = mittlerer Beitrag

◑ = geringer Beitrag

Abbildung 1: Untersuchte Beiträge zur Beantwortung der Forschungsfragen