

# **Ökoeffizienzorientierte Fabrikplanung**

Vorgehensweise und Ansätze zur Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme

Jesco Gumprecht

Jesco Gumprecht

## **Ökoeffizienzorientierte Fabrikplanung**

Vorgehensweise und Ansätze zur Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme

© TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, München, 2018

1. Auflage 2018

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

**Gumprecht, Jesco:**

### **Ökoeffizienzorientierte Fabrikplanung**

Vorgehensweise und Ansätze zur Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrik-systeme

1. Auflage

München: TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, 2018

ISBN: 978-3-941967-99-1

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

Der produzierenden Industrie und damit der Planung ihrer Fabriken kommt im Rahmen eines verantwortungsvollen Umgangs mit Rohstoff- und Energieressourcen eine zentrale Aufgabe zu. Der anhaltende Kostendruck führt zur Verschärfung des Wettbewerbs und der Notwendigkeit einer Effizienzsteigerung bei den betrieblichen Prozessen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Reduzierung von Umweltwirkungen. Die Integration des Ökoeffizienzkonzepts in die Fabrikplanung stellt einen möglichen Lösungsansatz dar, um sowohl ökologische als auch ökonomische Faktoren in der Planungsphase zur berücksichtigen.

Herrn Gumprecht gelingt es mit seiner Arbeit diese Herausforderungen aufzugreifen und einen möglichen Lösungsraum aufzuzeigen. Die Arbeit stützt sich auf Überlegungen, die durch eine Kombination aus der Literatur und der empirischen Analyse heraus erarbeitet wurden und als eigenständiger wissenschaftlicher Beitrag zu würdigen sind. Er nutzt die gewonnenen Erkenntnisse, um ein Referenzmodell zur ökoeffizienzorientierten Fabrikplanung zu entwickeln. Das Modell liefert Handlungsansätze zur effektiven und effizienten Planung von ökoeffizienzorientierten Fabrikssystemen. Die Stringenz in der Aufbereitung bestehender sowie die Erarbeitung neuer Erkenntnisse auf dem bislang wissenschaftlich wenig untersuchten Gebiet der ökologieorientierten Fabrikplanung überzeugt durchgehend und trägt zu einer Verbesserung des Verständnisses einer ökoeffizienzorientierten Fabrikplanung bei. Zentrale These der Arbeit ist, dass die Gestaltung eines ökoeffizienzorientierten Fabriksystems unter kontextspezifischen Faktoren unternehmensindividuell erfolgen muss. Hierzu werden empirisch begründete Empfehlungen zur Gestaltung eines ökoeffizienzorientierten Fabrikplanungsvorgehens sowie zum Einsatz von Handlungsansätzen zur Steigerung der Ökoeffizienz abgeleitet. Die Arbeit von Herrn Gumprecht leistet damit einen wesentlichen Forschungsbeitrag zur Gestaltung ökonomisch und ökologisch sinnvoller Fabrikssysteme.

Das Buch, dem eine Dissertation an der Technischen Universität München zugrunde liegt, ist für Leser aus Wissenschaft und Unternehmenspraxis gleichermaßen zu empfehlen, die sich mit dem Thema Fabrikplanung und ökonomischer Nachhaltigkeit in produzierenden Unternehmen beschäftigen.

München, im Dezember 2018

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

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung . . . . .	2
1.2	Behandlung der Thematik in der Literatur . . . . .	9
1.3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit . . . . .	19
<b>2</b>	<b>Theoretischer und empirischer Bezugsrahmen</b>	<b>25</b>
2.1	Fabrikplanung als Betrachtungsgegenstand . . . . .	25
2.1.1	Begriffliche Abgrenzung der Fabrik . . . . .	25
2.1.2	Fabrik als System . . . . .	28
2.1.3	Fabriklebenszyklus . . . . .	31
2.1.4	Zielsystem der Fabrik . . . . .	32
2.1.5	Fabrikplanung . . . . .	35
2.1.6	Zusammenfassung . . . . .	39
2.2	Ökoeffizienz als Untersuchungsgegenstand . . . . .	40
2.2.1	Begriffliche Abgrenzung der Ökoeffizienz . . . . .	42
2.2.2	Ökoeffizienzorientiertes Management . . . . .	45
2.2.3	Messkonzept der Ökoeffizienz für die Fabrikplanung . . . . .	47
2.2.4	Leitlinien für ökoeffizienzorientierte Planungsvarianten . . . . .	53
2.2.5	Planung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme . . . . .	58
2.2.6	Zusammenfassung . . . . .	60
2.3	Forschungsdesign und empirische Datenbasis . . . . .	61
2.3.1	Forschungsdesign . . . . .	61
2.3.2	Vorgehensweise der empirischen Untersuchung . . . . .	65
2.3.3	Erhebungsmethodik und empirische Datenbasis . . . . .	67
2.3.4	Zusammenfassung . . . . .	85
2.4	Ableitung der Forschungshypothesen und Modellanforderungen . . . . .	86
<b>3</b>	<b>Modell zur Gestaltung von ökoeffizienzorientierten Fabrikssystemen</b>	<b>89</b>
3.1	Modellspezifischer Gesamtzusammenhang . . . . .	89
3.2	Charakterisierung der Einflussgrößen . . . . .	96
3.2.1	Produktionsbezogene Einflussgrößen . . . . .	97
3.2.2	Prozessbezogene Einflussgrößen . . . . .	103
3.3	Charakterisierung der Szenarien . . . . .	108
3.4	Analyse der Einflussgrößen und Szenarien in den Fallstudien . . . . .	112

---

3.5	Zusammenfassung . . . . .	132
<b>4</b>	<b>Gestaltung von ökoeffizienzorientierten Fabrikssystemen</b>	<b>134</b>
4.1	Vorgehensweise zur ökoeffizienzorientierten Fabrikplanung . . . . .	134
4.1.1	Analyse . . . . .	135
4.1.2	Konzipierung . . . . .	144
4.1.3	Bewertung . . . . .	153
4.2	Handlungsansätze zur Steigerung der Ökoeffizienz . . . . .	163
4.2.1	Produktionsstätte und Fabrikgebäude . . . . .	165
4.2.2	Prozesse und Infrastruktur . . . . .	167
4.2.3	Arbeitsplatz . . . . .	170
4.3	Analyse der Gestaltung in den Fallstudien . . . . .	173
4.4	Zusammenfassung . . . . .	194
<b>5</b>	<b>Handlungsempfehlungen</b>	<b>197</b>
5.1	Empfehlungen zur Ausgestaltung des Planungsvorgehens . . . . .	198
5.1.1	Analyse . . . . .	199
5.1.2	Konzipierung . . . . .	202
5.1.3	Bewertung . . . . .	204
5.2	Empfehlungen zur Auswahl von Handlungsansätzen . . . . .	207
5.2.1	Produktionsstätte und Fabrikgebäude . . . . .	208
5.2.2	Prozesse und Infrastruktur . . . . .	210
5.2.3	Arbeitsplatz . . . . .	212
5.3	Zusammenfassung . . . . .	213
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>217</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>225</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>227</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>228</b>
	<b>Anhang</b>	<b>291</b>

# 1 Einleitung

Aufgrund weltweit steigender Nachfragen stellt ein nachhaltiger Umgang mit natürlichen Ressourcen eine zentrale Herausforderung für Unternehmen der produzierenden Industrie dar.<sup>1</sup> Dies führt zu einer Verknappung und somit zu einer Preissteigerung von endlichen Rohstoffen.<sup>2</sup> Gleichzeitig erfordern der fortschreitende Globalisierungsprozess, der Anstieg der Weltbevölkerung und die Zunahme von negativen Umweltwirkungen eine umweltschonende und nachhaltigkeitsorientierte Planung und Entwicklung von Unternehmen.<sup>3</sup> Ein effizienter Umgang mit Ressourcen gewinnt an Bedeutung.<sup>4</sup>

Eine Veränderung hin zu einer effizienten Ressourcennutzung in der Fabrik ist nicht nur aus ökologischer Sicht sinnvoll, sondern stellt zunehmend aus ökonomischer Sicht eine Notwendigkeit und ein Erfolgskriterium für Unternehmen der produzierenden Industrie dar.<sup>5</sup> Die Politik als auch eine Vielzahl an Unternehmen haben diese Entwicklung erkannt und mit gesetzlichen Grenzwerten beziehungsweise mit freiwilligen Unternehmenszielen reagiert. Bereits im Jahr 2002 formulierte die deutsche Bundesregierung im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel, Energie und Ressourcen effizienter zu nutzen und bis zum Jahr 2020 die Rohstoffproduktivität gegenüber 1994 und die Energieproduktivität gegenüber 1990 zu verdoppeln.<sup>6</sup> Im Jahr 2010 wurde das Ziel einer Verminderung der Gesamtemissionen von CO<sub>2</sub>-Äquivalente um 40 Prozent gegenüber 1990 bis zum Jahr 2020 in die Strategie mitaufgenommen.<sup>7</sup> Diese Ziele haben bereits zahlreiche Unternehmen in ihre Nachhaltigkeitsstrategie integriert und weisen jährlich aus, wie hoch ihre Umweltwirkungen sind. So hat sich die Volkswagen AG mit ihrem „Think Blue. Factory“-Ansatz das Ziel gesetzt, die Umweltbelastung durch ihre Produktionsstätten gegenüber 2010 um 25 Prozent bis 2018 zu verringern.<sup>8</sup> Die BMW Group verfolgt das Ziel einer Reduzierung der spezifischen Ressourcenverbräuche um 45 Prozent in der Produktion gegenüber dem Jahr 2006.<sup>9</sup> Auch die Daimler AG strebt eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in ihren europäischen Werken um 20 Prozent bis zum Jahr 2020 auf Basis des Ausstoßes im Jahr 1990 an, trotz einer deutlichen

---

<sup>1</sup> Vgl. JOVANE u. a. (2008), S. 641; KLOCKE u. a. (2013), S. 80.

<sup>2</sup> Vgl. NEUGEBAUER/WESTKÄMPER u. a. (2008a), S. 11 ff.

<sup>3</sup> Vgl. SELIGER/MÜLLER/PERLEWITZ (1997), S. 67 ff.; MÜLLER/CANNATA/HERRMANN (2014), S. 331; NEUHAUS (2008b), S. 246.

<sup>4</sup> Vgl. WILDEMANN (2012a), S. 12 ff.; WILDEMANN (2012b), S. 5 ff.; SCHLUND/SCHNABEL/RIST (2014), S. 93 ff.; ANSARI/WULF (2015), S. 12; HERRMANN/THIEDE/HEINEMANN (2010), S. 94 f.; KREIMEIER u. a. (2013), S. 47; KRISTOF u. a. (2006), S. 1 ff.

<sup>5</sup> Vgl. GREINACHER u. a. (2015), S. 231; NYHUIS (2011), S. 179; WULF/ANSARI u. a. (2013), S. 51.

<sup>6</sup> Vgl. BUNDESREGIERUNG (2002), S. 93; BMUB (2014).

<sup>7</sup> Vgl. BUNDESREGIERUNG (2011), S. 62 und S. 67 f.

<sup>8</sup> Vgl. VOLKSWAGEN AG (2013), S. 94.

<sup>9</sup> Vgl. BMW GROUP (2014), S. 209.

Steigerung des Produktionsvolumens.<sup>10</sup> Zur Erreichung der Ziele kommt der Produktion eine wesentliche Rolle zu. Die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit verlangt nach umfangreichen Ansätzen zur Steigerung der betrieblichen Effizienz, die sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht vorteilhaft zu gestalten sind.

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Ausgangssituation zur Durchführung einer ökoeffizienzorientierten Fabrikplanung lässt sich anhand der Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis wie folgt zusammenfassen:

- Eine anhaltende Ressourcenverknappung, die Verschärfung umweltpolitischer Normen sowie ambitionierte Nachhaltigkeitsziele der Politik hinsichtlich der Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und Emissionsausstoßes erfordern eine Neuausrichtung von Unternehmen und bedingen die Integration ökologischer Aspekte in das Zielsystem.<sup>11</sup> Hierzu sind ein ressourceneffizienter Fabrikbetrieb und neue Organisations- und Managementprinzipien, die von einem ressourcenbewussten Verhalten des Menschen unterstützt werden, notwendig.<sup>12</sup>
- Steigende Kosten im Bereich der Material- und Energiebereitstellung sowie in der Erfüllung von umweltrechtlichen Auflagen erhöhen den Druck auf produzierende Unternehmen ihre Effizienz kontinuierlich zu verbessern.<sup>13</sup> Eine Reduzierung des Energieverbrauchs sowie eine Steigerung des Anteils regenerativer Energien zählen zu den wesentlichen Herausforderungen für produzierende Unternehmen.<sup>14</sup> Potenzial zur Effizienzsteigerung ist bei produzierenden Unternehmen ausreichend vorhanden. Der Schwerpunkt bei Fabrikplanungsvorhaben ist auf eine Material- und Energieproduktivitätssteigerung zu legen.
- Der Aspekt der Nachhaltigkeit gewinnt bei Konsumenten und in der Öffentlichkeit zunehmend an Bedeutung.<sup>15</sup> In der Konsequenz streben Unternehmen verstärkt einen Wandel zu einem umweltfreundlichen Image an.<sup>16</sup> Veränderungen in der Außen Darstellung sind zu erkennen und Aspekte der Nachhaltigkeit werden verstärkt als Leitbild in den Unternehmenszielen verankert.<sup>17</sup> Dieser Trend ist branchenübergreifend bei allen produzierenden Unternehmen von Automobilindustrie über

<sup>10</sup> Vgl. DAIMLER AG (2013), S. 17.

<sup>11</sup> Vgl. NEUHAUS (2008b), S. 246; MÜLLER/CANNATA/STAHL u. a. (2013), S. 167.

<sup>12</sup> Vgl. ABELE/REINHART (2011), S. 114 ff.

<sup>13</sup> Vgl. RACKOW u. a. (2015), S. 218.

<sup>14</sup> Vgl. HARTMANN/HUHN (2009), S. 9 ff.

<sup>15</sup> Vgl. u. a. GRUNWALD/KOPFMÜLLER (2012), S. 190 ff.; MEFFERT/HENSMANN (2015), S. 22 ff.; BMU (2012b), S. 16 f.

<sup>16</sup> Vgl. KERSTEN/BROCKHAUS/BERLIN (2011), S. 57; SCHALTEGGER/HARMS/WINDOLPH (2010), S. 34 ff.

<sup>17</sup> Vgl. LOCHMAHR (2015), S. 11.

die Chemieindustrie bis hin zur Elektronikindustrie festzustellen.<sup>18</sup> Für die Fabrikplanung bedeutet dies, dass bereits in der Planungsphase neben den Faktoren Kosten, Zeit und Qualität zusätzlich ökologische Aspekte bei der Gestaltung des Fabriksystems zu berücksichtigen sind.

- Die Umwelt produzierender Unternehmen kann als dynamisch und turbulent charakterisiert werden.<sup>19</sup> Ursache für die Dynamik und Turbulenz ist im indirekten Wirken von Megatrends<sup>20</sup> zu sehen.<sup>21</sup> Das dynamisch turbulente Umfeld führt zu verändernden Rahmenbedingungen und neuen Anforderungen an die Planung und den Betrieb von Fabriken.<sup>22</sup>

Die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Unternehmen verlangt vor dem Hintergrund des Anstiegs der Rohstoffpreise sowie des zunehmenden Konkurrenz- und Kostendrucks eine kontinuierliche Verbesserung der betrieblichen Effizienz zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit.<sup>23</sup> Um ihre Wettbewerbsposition aufrechtzuerhalten oder auszubauen, sind Unternehmen gezwungen, ihre Prozesse und Organisation kontinuierlich zu verbessern, um dadurch Produktivitätssteigerungen zu generieren.<sup>24</sup> Angesichts der Kostenentwicklung für Material und Energie bei Unternehmen der produzierenden Industrie nehmen Effizienzmaßnahmen eine entscheidende Rolle ein.<sup>25</sup> Das jährliche Kostensenkungspotenzial durch eine erhöhte Ressourceneffizienz in Deutschland wird auf etwa 100 Milliarden Euro geschätzt.<sup>26</sup> Jedoch standen energetische Ressourcen in der Vergangenheit ausreichend zur Verfügung, Preise auf den Rohstoffmärkten entwickelten sich stabil. Aufgrund der weltweiten Industrialisierung, der zunehmenden Vernetzung der Märkte und des Lohnkostendrucks aus Niedriglohnländern, entwickelte sich die Steigerung der Arbeitsproduktivität für deutsche Unternehmen hingegen zu einer Notwendigkeit, um dem Wettbewerbsdruck Stand halten zu können. So verfolgten Ansätze zur Kostenreduktion bei Unternehmen in der Vergangenheit vor allem eine Reduktion der Personalkosten um die Arbeitsproduktivität zu erhöhen.<sup>27</sup> Die ansteigenden Rohstoffpreise, die Verknappung wichtiger Metalle und die ständig stärker werdende Konkurrenz um die international verfügbaren Reserven an Industrie- und

<sup>18</sup> Vgl. u. a. BMW GROUP (2016), S. 9 ff.; BAYER AG (2016), S. 79 ff.; INFINEON TECHNOLOGIES AG (2016), S. 92 ff.

<sup>19</sup> Vgl. CISEK/HABICHT/NEISE (2002), S. 441; HEINEN/RIMPAU/WÖRN (2008), S. 19 ff.; NOFEN (2006), S. 1 f.; WESTKÄMPER (1999), S. 131; WIENDAHL (2002), S. 122; SPATH/BAUMEISTER/RASCH (2002), S. 28.

<sup>20</sup> Megatrends sind langlebige Entwicklungen mit einer Halbwertszeit von mehr als zehn Jahren, die von besonderer sozialer, wirtschaftlicher oder politischer Relevanz sind (vgl. GAUSEMEIER/PLASS/WENZELMANN 2009, S. 112).

<sup>21</sup> Vgl. HILDEBRAND/MÄDING/GÜNTHER (2005), S. 1; REINHART/HIRSCHBERG/SELKE (1999), S. 20; WIENDAHL/ELMARAGHY u. a. (2007), S. 783 f.

<sup>22</sup> Vgl. WIRTH/SCHENK/MÜLLER (2012a), S. 15.

<sup>23</sup> Vgl. WILDEMANN (2012a), S. 12 ff.; BOUTELLIER/SCHUH/SEGHEZZI (1997), S. 41 ff.; SCHLUND/SCHNABEL/RIST (2014), S. 93 ff.; KERSTEN/ALLONAS (2012), S. 20 ff.

<sup>24</sup> Vgl. SPATH/GANSCHAR u. a. (2013), S. 14 ff.

<sup>25</sup> Vgl. FRESNER (2014b), S. 12 f.; REINHART/SCHULTZ (2014), S. 29 f.; DAHLBENDER (2014), S. 109; HERRMANN/THIEDE/HEINEMANN (2010), S. 64 ff.; BMU (2012a), S. 10 ff.

<sup>26</sup> Vgl. WULF/ANSARI (2015), S. 61.

<sup>27</sup> Vgl. BMU (2012a), S. 22 ff.



Agrarrohstoffen charakterisieren neue Herausforderungen für Unternehmen der produzierenden Industrie. Dass Material- und Energiekosten gegenüber den Personalkosten eine zunehmende Bedeutung einnehmen, ist am steigenden Anteil der Rohstoffkosten am Bruttoproduktionswert zu sehen. Die Kosten für Material- und Energieverbrauch stellen mit etwa 46 Prozent des Bruttoproduktionswertes den größten Anteil in der Kostenstruktur von Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes dar.<sup>28</sup> Auf Personalkosten entfallen knapp 18 Prozent.<sup>29</sup> Damit sind die Material- und Energiekosten ein zentraler Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in Deutschland. Ferner sind die Effekte steigender Kosten auf den Beschaffungsmärkten noch nicht berücksichtigt, obwohl die Bezugspreise für Energie und Material in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen sind.<sup>30</sup> Im Zeitraum von 2004 bis 2014 hat sich für Unternehmen der Strompreis um 88 Prozent und der Gaspreis um 46 Prozent erhöht.<sup>31</sup> In den kommenden zwanzig Jahren werden weitere Preissteigerungen von bis zu 70 Prozent erwartet.<sup>32</sup> An diesem Kostenfaktor können Unternehmen ansetzen, um betriebliche Kosten zu sparen und um gleichzeitig den Ressourcenbedarf zu verringern. Maßnahmen zur Kostensenkung werden bei produzierenden Unternehmen erfolgreich angewendet und kontinuierlich verbessert und zeigen, dass sich Preissteigerungen durch eine effizientere Nutzung zum Teil kompensieren lassen.<sup>33</sup> Schwerpunkt ist dabei immer noch die Steigerung der Arbeitsproduktivität durch erfolgreiche Nutzung von Effizienzpotenzialen in allen Unternehmensbereichen, da vor allem der Lohnkostenanteil in den Hochlohnländern ein Wettbewerbsnachteil gegenüber Niedriglohnländern darstellt.<sup>34</sup> Ein nachhaltiger Umgang mit den im Unternehmen zur Verfügung stehenden Ressourcen ist die Schlüsselfunktion, um die ökonomischen und ökologischen Potenziale zu heben.<sup>35</sup> Jedoch wurde in der Vergangenheit die Auswirkungen auf die Umwelt sowie Maßnahmen zur Erzielung einer ökologisch nachhaltigen Produktionstechnik kaum beachtet, da der Aufwand im Vergleich zum Nutzen als zu gering erachtet wurde.<sup>36</sup> Bereits im Jahr 2002 formulierte die Bundesregierung im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel, Energie und Ressourcen effizienter zu nutzen und bis zum Jahr 2020 die Rohstoffproduktivität gegenüber 1994 und die Energieproduktivität gegenüber 1990 zu verdoppeln.<sup>37</sup> Im Jahr 2010 wurde das Ziel einer Verminderung der Gesamtemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalente um 40 Prozent gegenüber 1990 bis zum Jahr 2020 in die Strategie

<sup>28</sup> Vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT (2015), S. 280.

<sup>29</sup> Vgl. STATISTISCHES BUNDESAMT (2015), S. 280.

<sup>30</sup> Vgl. WOSNITZA/HILGERS (2012), S. 1 ff.; HESSELBACH (2012), S. 1 ff.; MÜLLER/ENGELMANN u. a. (2009), S. 6 ff.

<sup>31</sup> Vgl. BMWI (2016).

<sup>32</sup> Vgl. ROLAND BERGER (2011), S. 6.

<sup>33</sup> Vgl. FRIEDRICH/MAIER (2010), S. 49.

<sup>34</sup> Vgl. GIEGRICH u. a. (2014), S. 140; FRIEDRICH/MAIER (2010), S. 49; WULF/ANSARI (2015), S. 61.

<sup>35</sup> Vgl. ANSARI/WULF (2015), S. 12.

<sup>36</sup> Vgl. FRIEDRICH/MAIER (2010), S. 49.

<sup>37</sup> Vgl. BUNDESREGIERUNG (2002), S. 93; BMUB (2014).

mitaufgenommen.<sup>38</sup> Bei der Umsetzung dieser Ziele nehmen Unternehmen der produzierenden Industrie als energie- und ressourcenintensive Branche eine entscheidende Rolle ein. Das grundlegende Ziel der Gewinnmaximierung wird zunehmend durch die Verknappung von Rohstoffen und den damit einhergehenden Preissteigerungen beeinflusst. Damit rückt die Forderung nach maximalem Gewinn aus begrenzten Ressourcen in den Vordergrund.<sup>39</sup> Die Steigerung der Material- und Ressourceneffizienz stellt eines der wichtigsten Kosteneinsparungspotenziale bei gleichzeitigem Umweltschutz dar.<sup>40</sup> Eine Sensibilisierung zu einem effizienten Umgang mit Ressourcen ist in der produzierenden Industrie bereits festzustellen.<sup>41</sup> Neben steigenden Preisen, sind auch strengere gesetzliche Auflagen für diese Entwicklung verantwortlich.<sup>42</sup> Umweltschutz und die damit einhergehende Sicherheit der Rohstoff- und Energieversorgung gewinnen zunehmend an Bedeutung.<sup>43</sup> Wie Ergebnisse zahlreicher Studien zeigen, ist das Potenzial von Effizienzmaßnahmen bei Unternehmen der produzierenden Industrie zur Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs sowie zur Senkung der Treibhausgasemissionen noch nicht ausgeschöpft: So gehen WOIDASKY/OSTERTAG/STIER davon aus, dass sich durch eine deutschlandweite Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen in den nächsten 20 Jahren Einsparpotenziale bis zu einer Milliarde Euro ergeben können.<sup>44</sup> Dies entspricht einer Einsparung von etwa 80 Millionen Tonnen Rohstoffen, bei einer gleichzeitigen Reduzierung von Treibhausgasemissionen um knapp 60 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. NEUGEBAUER/WESTKÄMPER u. a. kommen zu dem Ergebnis, dass in der gesamten industriellen Produktion „[...] mittelfristige Energieeinsparungen von 25 bis 30 Prozent möglich“ sind.<sup>45</sup> Die Ergebnisse der Studie von VAHLENKAMP u. a. zeigen, dass durch Anwendung der untersuchten Vermeidungshebel zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen in Deutschland bis 2020 gegenüber dem Ausgangsjahr von 1990 der Treibhausgasausstoß um 26 Prozent gesenkt werden kann. Die Studie von BARON u. a. geht ab 2002 für den Zeitraum der nächsten sieben bis zehn Jahre von Einsparpotenzialen durch Steigerung der Materialeffizienz bei den Branchen Metallbearbeitung, Anlagenbau, chemische Industrie und Kunststoffherstellung in Höhe von rund 13 Milliarden Euro aus.<sup>46</sup> SEEFELDT u. a. haben Potenziale zur Energieeinsparung und Energieeffizienz für die Bereiche private Haushalte, Dienstleistungen, produzierendes Gewerbe sowie Transport und Verkehr untersucht. Für den Bereich des produzierenden Gewerbes gehen sie von einem technischen Einsparpotenzial von 25 Prozent in Bezug

<sup>38</sup> Vgl. BUNDESREGIERUNG (2011), S. 62 und S. 67 f.

<sup>39</sup> Vgl. NEUGEBAUER/WESTKÄMPER u. a. (2008b), S. 2.

<sup>40</sup> Vgl. HARDTKE/PREHN (2001), S. 93.

<sup>41</sup> Vgl. ANSARI/WULF (2014), S. 691; WULF/ANSARI (2014), S. 659.

<sup>42</sup> Vgl. WEISSENBERGER-EIBL u. a. (2014), S. 15 ff.; NYHUIS (2011), S. 179.

<sup>43</sup> Vgl. BIROL (2014), S. 23 ff.

<sup>44</sup> Vgl. WOIDASKY/OSTERTAG/STIER (2013), S. III.

<sup>45</sup> Vgl. NEUGEBAUER/WESTKÄMPER u. a. (2008a), S. 12.

<sup>46</sup> Vgl. BARON u. a. (2005), S. 5.

auf das Jahr 2002 aus.<sup>47</sup> Allerdings betonen sie, dass „[. . .] Hemmnisse zur Realisierung von an sich wirtschaftlichen Einsparpotenzialen besonders vielfältig [sind] und verlangen nach einer passenden Adressierung durch geeignete Instrumente“.<sup>48</sup> Eine Untersuchung von ROLAND BERGER über Ansätze zur Effizienzsteigerung in stromintensiven Industrien zeigt, dass sich durch Effizienzmaßnahmen die Stromkosten bis 2050 je nach Branche um 30 bis 60 Prozent reduzieren lassen.<sup>49</sup>

Aufgrund der genannten Herausforderungen fällt den Unternehmen der produzierenden Industrie und damit auch deren Planung von Fabriken im Rahmen des nachhaltigen und effizienten Umgangs mit Rohstoffen und Energieressourcen eine wesentliche Aufgabe zur Produktivitäts- und Effizienzsteigerung zu.<sup>50</sup> Eine Steigerung der Produktivität kann jedoch nur erreicht werden, wenn mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen Energie, Material und Personal ökonomisch und ökologisch effizient umgegangen wird. Die entstehende Lücke zwischen notwendiger Produktivitätssteigerung ist durch eine Steigerung der betrieblichen Effizienz zu schließen. Im Zuge der notwendigen Integration ökologischer Aspekte in betriebswirtschaftliche Entscheidungsprozesse zeigt sich jedoch häufig ein Zielkonflikt der beiden Sichtweisen.<sup>51</sup> Vor diesem Hintergrund entwickelte sich Anfang der 1990er Jahre der Begriff der „Ökoeffizienz“.<sup>52</sup> Mit diesem Ansatz sollen ökologische Anforderungen mit den ökonomischen Zielen eines Unternehmens in Verbindung gesetzt werden.<sup>53</sup> Ökoeffizienz bezeichnet dabei einen Managementansatz beziehungsweise eine Optimierungsmethode, welche zur Reduzierung von Kosten bei gleichzeitiger Minderung von Umweltwirkungen genutzt wird.<sup>54</sup> Der Ansatz ist dabei nicht mit Nachhaltigkeit gleichzusetzen, sondern stellt eine Möglichkeit der Umsetzung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen in der Schnittmenge von Ökonomie und Ökologie dar.<sup>55</sup> Unter Berücksichtigung der dargelegten Ausgangssituation sowie der dieser Arbeit vorangegangenen empirischen Untersuchung<sup>56</sup> wird deutlich, mit welchen Herausforderungen Unternehmen der produzierenden Industrie zukünftig konfrontiert werden. Insgesamt ist mit einer gesteigerten Komplexität der Planung sowie einer erhöhten Anzahl unternehmensspezifischer Planungsparameter zu rechnen, denen mit einem kontextspezifischen Planungsvorgehen mit unterstützendem Methodenbündel zu begegnen ist. Zur Reduzierung der Planungskomplexität und Berücksichtigung von unternehmensspezifischen Planungsparameter bestehen jedoch praktische und theoretische Defizite, welche die

<sup>47</sup> Vgl. SEEFELDT u. a. (2007), S. 10.

<sup>48</sup> Vgl. SEEFELDT u. a. (2007), S. 10.

<sup>49</sup> Vgl. ROLAND BERGER (2011), S. 19.

<sup>50</sup> Vgl. MÜLLER/ENGELMANN u. a. (2009), S. 1 f.; ABELE/SCHREMS (2010), S. 542 f.; WIENDAHL (2014), S. 273 f.

<sup>51</sup> Vgl. PLEHN/REINHARD u. a. (2013), S. 31.

<sup>52</sup> Der Begriff der „Ökoeffizienz“ ist eine Abkürzung für die ökonomisch-ökologische Effizienz (vgl. SCHALTEGGER/STURM 1990, S. 273 ff.). In Kapitel 2.2.1 erfolgt eine ausführliche Betrachtung des Begriffs.

<sup>53</sup> Vgl. HAUFF/KLEINE (2009), S. 77.

<sup>54</sup> Vgl. HARDTKE/PREHN (2001), S. 128.

<sup>55</sup> Vgl. HARDTKE/PREHN (2001), S. 124.

<sup>56</sup> Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung werden in Kapitel 2.3.3 vorgestellt.

Problemstellung der Arbeit beschreiben. Sie lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- Im Zuge der Globalisierung der Märkte und des technologischen Fortschritts nehmen Marktdynamik zu und Produktlebenszyklen ab.<sup>57</sup> In der Konsequenz führt dies zu einer zunehmenden Beschleunigung von Fabrikplanungsaktivitäten.<sup>58</sup> Gleichzeitig wirken sich eine steigende Produkt- und Prozesskomplexität, immer kürzere Innovationszyklen sowie die Forderung nach umweltfreundlichen und ressourcensparenden Unternehmen auf die Fabrikplanung aus. Der Zeitbedarf zur gründlichen und nachhaltigen Durchführung von Planungsaktivitäten aufgrund der zunehmenden Planungskomplexität von Fabrikplanungsvorhaben steigt.<sup>59</sup> Eine Vorgehensweise zur Beschleunigung des Planungsvorgehens und Reduzierung der Planungskomplexität durch eine kontextspezifische Ausgestaltung ist notwendig.
- In den frühen Phasen der Fabrikplanung werden wichtige Entscheidungen mit weitreichenden Folgen für das Planungsprojekt getroffen. Ein Großteil der Projektkosten, der späteren Betriebskosten sowie der Umweltauswirkungen einer Fabrik wird in diesen Phasen bestimmt. Entscheidungen zur Ausgestaltung von Fabriken unterliegen in dieser Phase jedoch einem hohen Unsicherheitsfaktor.<sup>60</sup> Bisherige Ansätze der Fabrikplanung ermöglichen keine umfassende ökonomische und ökologische Bewertung von Planungsvarianten.<sup>61</sup> Fehlentscheidungen werden erst spät erkannt und lassen sich nur noch unter hohem Zeit- und Kosteneinsatz beheben.<sup>62</sup> Es werden Ansätze benötigt, um effizient und effektiv die unternehmensspezifischen Anforderungen bereits in den frühen Phasen des Planungsvorgehens zu berücksichtigen.
- Bei der Gestaltung von Fabriken konzentrierten sich produzierende Unternehmen in der Vergangenheit zunehmend darauf, ihre Produktivität zu steigern oder ihre Wettbewerbsposition weiter auszubauen.<sup>63</sup> Die Steigerung der Arbeitsproduktivität stand im Vordergrund von Planungsaktivitäten.<sup>64</sup> Der Ressourcenbezug und -verbrauch sowie Umweltauswirkungen<sup>65</sup> von Maschinen, Anlagen und dem Fabrikgebäude werden bislang nur bedingt oder gar nicht bei Planungsvorhaben

<sup>57</sup> Vgl. SCHUH (2005a), S. 174.

<sup>58</sup> Vgl. GRUNDIG (2013), S. 29; WIENDAHL/REICHARDT/NYHUIS (2009), S. 14 f.; ZÜRN (2010), S. 19.

<sup>59</sup> Vgl. WESTKÄMPER/BIERSCHENK/KUHLMANN (2003), S. 22 f.; WESOLY u. a. (2003), S. 788 ff.; SCHUH/MONOSTORI u. a. (2008), S. 445 ff.

<sup>60</sup> Vgl. WEIG (2008), S. 3 f.

<sup>61</sup> Vgl. REINEMA/SCHULZE/NYHUIS (2011), S. 250.

<sup>62</sup> Vgl. GRUNDIG (2009), S. 27.

<sup>63</sup> Vgl. SUNDARAKANI u. a. (2010), S. 43; SCHMIDT (2009), S. 145 ff.

<sup>64</sup> Vgl. BMU (2012a), S. 22.

<sup>65</sup> Umweltauswirkungen sind „[...] Veränderung[en] der Umwelt, ob ungünstig oder günstig, die sich ganz oder teilweise aus Umweltaspekten einer Organisation [ergeben]“ (vgl. ISO 14001 2009, S. 11).

berücksichtigt.<sup>66</sup> Es gilt konkrete Handlungsfelder und Ansätze zu erarbeiten, welche die Reduzierung des Ressourcenbezugs und -verbrauchs sowie Umweltauswirkungen verfolgen.

- Es fehlt an integrierten Methoden und Instrumenten, die das Erreichen von Leistungs- und Umweltzielen gleichermaßen ermöglichen. Vorhandene Ansätze der Fabrikplanung in der Literatur sind, unter dem Aspekt der Praxistauglichkeit, also Wirtschaftlichkeit und Anwenderfreundlichkeit, zu übertragen, um die Gestaltung eines ökoeffizienzorientierten Fabriksystems in Abhängigkeit von kontextspezifischen Einflussgrößen zu ermöglichen. Kennzahlensystemen der Fabrik- und Anlagenplanung sind um weitere Instrumente und Methoden zu erweitern, welche die relevanten Größen bezüglich Ressourcen und Umwelt möglichst vollständig erfassen und eine Bewertung und Verbesserung des Inputs und Outputs einer Fabrik bereits in der Planungsphase ermöglichen.<sup>67</sup>

Der Handlungsbedarf in der Fabrikplanung und die damit einhergehenden erforderlichen Veränderungen werden sowohl in der unternehmerischen Praxis als auch in der Wissenschaft bislang nicht ausreichend wahrgenommen. Bestehende Lösungsansätze geben nur bedingt Antwort auf die Problemstellungen bei Unternehmen der produzierenden Industrie. Die Arbeit greift die beschriebene Problemstellung auf und versucht die bestehenden Defizite zu schließen. Vor dem Hintergrund der dargelegten Problemfelder sowie den gewonnenen Erkenntnissen aus der explorativen Unternehmensbefragung ist ein Modell zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabriken bei produzierenden Unternehmen zu entwickeln. Dieses dient zur Integration von ökonomischen und ökologischen Aspekten in die Planungsphase von Fabriken. Es ermöglicht eine aufwandsarme und praxistaugliche Erarbeitung von ökoeffizienzorientierten Planungslösungen, vereinfacht den Planungsprozess, indem kontextspezifische Handlungsempfehlungen gegeben werden und unterstützt die Planungsbeteiligten bei der Einhaltung des Ziels eine Fabrik ökoeffizienzorientiert zu planen. Vorhandene Methoden und Ansätze der Fabrikplanung sind dabei zu prüfen und auf die spezifischen Anwendungskonstellationen bei einer ökoeffizienzorientierten Fabrikplanung zu übertragen. Ziel der Arbeit ist die Ableitung von kontextspezifischen Empfehlungen zur Ausgestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme von produzierenden Unternehmen auf Basis der Klassifizierung des Planungsvorhabens und der zugrunde liegenden Planungsprämissen zu ermöglichen. In Anlehnung an die Forschungsmethodologie der explorativen Forschung nach KUBICEK, dessen wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung mit der Formulierung theoriegeleiteter Fragen an die

<sup>66</sup> Vgl. NEUHAUS (2008b), S. 246; PLEHN/REINHARD u. a. (2013), S. 31.

<sup>67</sup> Vgl. NEUGEBAUER/WESTKÄMPER u. a. (2008b), S. 15.

Realität beginnt, lassen sich die zu untersuchenden Fragestellungen zur Problemlösung ableiten:

- Welche Trends und Entwicklungen in der Fabrikplanung zeichnen sich für Unternehmen der produzierenden Industrie ab?
- Wie lässt sich Ökoeffizienz messen und für die Anwendung bei produzierenden Unternehmen konkretisieren?
- Wie kann der Ansatz der Ökoeffizienz in die Fabrikplanung integriert werden, um Umweltaspekte ökonomisch und ökologisch sinnvoll zu berücksichtigen?
- Welche Einflussgrößen sind für die Ausgestaltung eines ökoeffizienzorientierten Planungsvorgehens relevant?
- Welche Planungsprämissen sind für die Auswahl von Handlungsansätzen zur Steigerung der Ökoeffizienz von Bedeutung?
- Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den charakteristischen Anwendungskonstellationen und der Gestaltung eines ökoeffizienzorientierten Fabriksystems?
- Welche Gestaltungs- und Handlungsfelder bilden ein Modell zur Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme?
- Welche Ansätze eignen sich für produzierende Unternehmen zur Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme?
- Welche spezifischen Empfehlungen lassen sich für Unternehmen der produzierenden Industrie zur Gestaltung ökoeffizienzorientierter Fabrikssysteme ableiten?

Im Verlauf der Arbeit sind diese Forschungsfragen zu beantworten, um die aufgezeigte Forschungslücke zu schließen. Sie sind als Teilziele zu verstehen und dienen zur Strukturierung des forschungsmethodischen Vorgehens.

## 1.2 Behandlung der Thematik in der Literatur

Zur Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt zunächst eine Systematisierung möglicher Lösungsansätze in der Literatur. Obgleich das Themengebiet Nachhaltigkeit zunehmend an Bedeutung in der ingenieurs- und betriebswirtschaftlichen Literatur gewinnt und unterschiedliche Aspekte wie etwa Energieeinsparung, Ressourcenverfügbarkeit und -verbrauch, nachhaltige Geschäftsmodelle untersucht werden, finden im Bereich der