

Jérôme Henkel

# Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz von Fabriken im urbanen Umfeld





# Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz von Fabriken im urbanen Umfeld

## Strategies for Increasing Space Efficiency of Factories in Urban Environments

Von der Fakultät für Maschinenwesen  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Jérôme Henkel  
(geb. Uelpenich)

### **Berichter/in:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Burggräf, MBA

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juni 2022



# ERGEBNISSE AUS DER PRODUKTIONSTECHNIK

**Jérôme Henkel**

Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz  
von Fabriken im urbanen Umfeld

**Herausgeber:**

Prof. Dr.-Ing. T. Bergs  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh  
Prof. Dr.-Ing. C. Brecher  
Prof. Dr.-Ing. R. H. Schmitt

Band 29/2022



**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

Jérôme Henkel:

Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz von Fabriken im urbanen Umfeld

1. Auflage, 2022

Apprimus Verlag, Aachen, 2022

Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien  
an der RWTH Aachen

Steinbachstr. 25, 52074 Aachen

Internet: [www.apprimus-verlag.de](http://www.apprimus-verlag.de), E-Mail: [info@apprimus-verlag.de](mailto:info@apprimus-verlag.de)

ISBN 978-3-98555-105-7

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2022)

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fabrikplanung am Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University.

Ich möchte mich zunächst bei Herrn Professor Günther Schuh für die Möglichkeit und die Unterstützung meiner Promotion am WZL bedanken. Die durch ihn geschaffene Infrastruktur am RWTH Aachen Campus und der starke Fokus auf industrienahe Forschung ermöglichten eine steile Lernkurve in meiner persönlichen und fachlichen Entwicklung. Herrn Professor Peter Burggräf danke ich für sein großes Vertrauen, die vielen innovativen Gedanken sowie für die zahlreichen, kritischen Diskussionen im Entstehungsprozess dieser Dissertation. Ebenfalls danken möchte ich Herrn Professor Wolfgang Schulz für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und Herrn Professor Andreas Jupke für die Annahme des Prüfungsbeisitzes.

Darüber hinaus möchte ich meinen ehemaligen Oberingenieuren, Dr. Matthias Dannapfel und Tobias Adlon, für die außerordentlich vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit sowie den bedingungslosen Einsatz und die unermüdliche Förderung unserer Abteilung danken. In vielen, teils kontroversen Gesprächen konnte ich zudem die Idee zu dieser Dissertation weiterentwickeln und das Ergebnis kontinuierlich verbessern. Zudem haben mich die unzähligen, gemeinsamen Dienstreisen zu Beginn meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter mit Tobias Adlon stark geprägt und ich erinnere mich immer wieder gerne an diese ereignisreiche und intensive Anfangszeit zurück.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen ehemaligen Kollegen am Lehrstuhl für Produktionssystematik bedanken. Ich durfte neben gruppeninternen Aufgaben auch viele abteilungsübergreifende Projekte begleiten und leiten. Dabei konnte ich immer auf die volle Einsatzbereitschaft, größte Motivation und eine freundschaftliche Zusammenarbeit zählen. Stellvertretend für die vielen Wegbegleiter möchte ich Dennis Schneidermann, Sebastian Patrick Vierschilling, Tino Schlosser, Dennis Ilic, Katharina Müller, Julian Utsch, Dr. Matthias Preuß, Dr. Johannes Wagner, Tingni Xu, Steffen

Schupp und Jonas Dackweiler nennen. Ihr seid der Grund für die unvergessliche, abwechslungsreiche und einfach nur herausragende Zeit während meiner Promotion am WZL.

Ein großes Dankeschön möchte ich auch meinen ehemaligen studentischen Hilfskräften und Abschlussarbeitern aussprechen. An dieser Stelle möchte ich besonders Oliver Matzke, Pia Vollmuth, Mateo Kasalo, Mark Kubik und Tobias Saalman erwähnen. Durch eure Motivation, den unermüdlichen Einsatz und die Verlässlichkeit in all den Jahren wart ihr eine große Entlastung und habt mit eurem tatkräftigen Einsatz einen wesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet.

Eine außergewöhnliche Reise mit unzähligen und schönen Momenten durfte ich seit meinem Studienbeginn an der RWTH Aachen University mit Dr. Paul Zeller und Dr. Sebastian Schlößer bestreiten. Ich konnte nicht nur im Studium, sondern auch in der gesamten Zeit als studentischer und wissenschaftlicher Mitarbeiter in allen Lebenslagen auf Euch zählen. Der kontinuierliche Zuspruch, der unbändige Optimismus und die tiefe Freundschaft haben mir immer wieder die notwendige Willenskraft und Motivation für die Ausarbeitung dieser Dissertation gegeben. Ich danke Euch dafür!

Meinen größten Dank möchte ich meiner Familie aussprechen. Den Grundstein für meine Leistungen und den Erfolg dieser Arbeit haben meine Eltern Regina und Rainer Uelpenich durch ihr bedingungsloses Vertrauen, die unermüdliche Unterstützung und den motivierenden Zuspruch in all den Jahren gelegt. Meiner Schwester Yvonne Müller und ihrer Familie danke ich für ihr großes Interesse und die Begeisterung für meine Arbeit, vor allem in den letzten Monaten. Stellvertretend für die gesamte Familie Henkel danke ich meinen Schwiegereltern Claudia und Christoph für die herzliche und unmittelbare Unterstützung neben der Arbeit. Ebenso möchte ich Dir, liebe Greta, für die vielen Jahre danken, in denen ich deiner selbstlosen Zurückhaltung, deinem außergewöhnlichen Verständnis und deinem starken Rückhalt immer gewiss sein konnte. Ich weiß, dass diese Zeit auch von zahlreichen Entbehrungen, entgangenen Möglichkeiten und anstrengenden Momenten geprägt war. Ich bewundere Deine Energie und Beharrlichkeit, mit der Du mich immer wieder aufs Neue motiviert hast weiterzumachen. Dein liebevoller Umgang und unsere beiden Kinder geben mir Kraft und Bestätigung für unsere gemeinsame Zukunft.

Dir widme ich diese Arbeit.

Köln, im Juni 2022



## Zusammenfassung

Der urbane Raum ist für produzierende Unternehmen ein innovativer und wichtiger Ort der industriellen Wertschöpfung. Empirische Studien zeigen jedoch, dass insbesondere die begrenzte Flächenverfügbarkeit die Entwicklungsmöglichkeiten im urbanen Raum stark beeinträchtigen. Darüber hinaus ergeben sich, neben der ökonomischen Perspektive, zunehmend auch gesellschaftliche und politische Anforderungen an nachhaltige und zukunftsorientierte Elemente einer integrierten Stadtentwicklung.

Ziel dieser Dissertation ist es, das Urbanisierungspotenzial einer Fabrik durch die Entwicklung von Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz zu nutzen. Dabei wird die wertschöpfungsorientierte Beschreibung und Bewertung von generischen Gestaltungsoptionen unter Berücksichtigung von flächenbezogenen Anforderungen aus dem urbanen Raum dazu verwendet, um Flächeneffizienzpotenziale abzuleiten.

Das Lösungskonzept besteht aus fünf Teilmodellen. Im ersten Teilmodell wird die urbane Fabrik anhand ihrer Wirkbeziehungen zum urbanen Umfeld in den Domänen Infrastruktur, Prozesse und Technologie charakterisiert, indem urbane Einflussfaktoren auf die Fabrik merkmalsbasiert beschrieben werden. Im zweiten Teilmodell werden urbane, flächenbezogenen Anforderungen an die Fabrik hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen untersucht, um die qualitativen Wirkbeziehungen in ein quantitatives Sensitivitätsmodell zu überführen und anwendungsbezogene Anforderungsbereiche abzuleiten. Im dritten Teilmodell erfolgt die Entwicklung eines Zielsystems zur wertschöpfungsorientierten Beschreibung der Flächeneffizienz sowie die Identifizierung von Berechnungskomponenten und Kennzahlen zu ihrer Bewertung. Das vierte Teilmodell integriert die Ergebnisse der Bewertung generischer Gestaltungsoptionen zur Steigerung der Flächeneffizienz mit den Anforderungsbereichen. Im Ergebnis werden definierte Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz durch die Priorisierung der bewerteten Gestaltungsoptionen sowie der Ableitung von Flächeneffizienzpotenzialen entwickelt. Im fünften Teilmodell werden die Ergebnisse aller zuvor entwickelten Modelle in einem Vorgehensmodell zusammengefasst und prozessual beschrieben. Diese Dissertation leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur systematischen Steigerung der Flächeneffizienz und fördert die Integration von Produktion in den urbanen Raum.



## Summary

Urban space is an innovative and important place of industrial value creation for manufacturing companies. However, empirical studies have shown that the limited availability of space severely impair the opportunities for potential growth and development in urban areas. Moreover, and in addition to the economic perspective, social and political requirements for sustainable and future-oriented elements in an integrated urban development are emerging increasingly.

The objective of this dissertation is to use the urbanization potential of a factory through strategies for systematically increasing space efficiency of factories in urban environments. In this context, the value-added-oriented description and evaluation of generic design options is used to derive space efficiency potentials for companies while considering space-related requirements from the urban area.

The framework of the solution consists of five partial models. In the first partial model, the urban factory is characterised based on its interactions with the urban environment in the domains of infrastructure, processes and technology. The result is the attribute-based description of influencing factors on space consumption. In the second partial model, space-related requirements for the factory are examined regarding their correlations in order to transfer the qualitatively described interactions into a quantitative sensitivity model. Thus, practice-related requirement areas for the urban factory are derived. In the third partial model, a target system for the value-creation oriented description of space efficiency is developed as well as calculation factors and performance indicators for its evaluation are identified. The fourth partial model integrates the results of the evaluation of generic design options for increasing space efficiency with the above-mentioned requirement areas. As a key result, defined strategies for increasing space efficiency are developed by prioritising the evaluated measures and deriving space efficiency potentials. In the fifth partial model, the results of all previously developed partial models are summarised in a process model and documented in terms of workflows. Thus, the dissertation at hand contributes significantly to the systematic increase of space efficiency of factories in urban environments and supports the integration of production into the urban space.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abbildungen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Verzeichnis der Abkürzungen .....</b>	<b>XV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.3 Forschungskonzeption .....	4
1.4 Aufbau der Arbeit.....	7
<b>2 Die urbane Fabrik als nachhaltiger Ort der Wertschöpfung .....</b>	<b>9</b>
2.1 Grundlagen der urbanen Produktion .....	9
2.1.1 Definition relevanter Begrifflichkeiten.....	10
2.1.2 Besonderheiten urbaner Produktionsstandorte.....	12
2.1.3 Einflussfaktoren im urbanen Umfeld .....	14
2.1.4 Abgrenzung des Betrachtungsbereiches .....	15
2.2 Flächeneffizienz und nachhaltige Flächennutzung .....	16
2.2.1 Definition relevanter Begrifflichkeiten.....	16
2.2.2 Forderung nach mehr Flächeneffizienz .....	19
2.2.3 Ressourcenbetrachtung der Fläche .....	21

2.2.4	Abgrenzung des Betrachtungsbereiches.....	22
2.3	Herausforderungen in der Flächennutzung urbaner Fabriken.....	22
2.3.1	Definition relevanter Begrifflichkeiten.....	23
2.3.2	Resultierende Anforderungen an die Flächennutzung im urbanen Raum .....	24
2.3.3	Formalisierung der Flächenentstehung von urbanen Fabriken .....	26
2.3.4	Abgrenzung des Betrachtungsbereiches.....	28
2.4	Bedarf an Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz von urbanen Fabriken .....	29
<b>3</b>	<b>Flächeneffizienz von urbanen Fabriken.....</b>	<b>31</b>
3.1	Wertschöpfungs- und Leistungsbewertung von Unternehmen .....	31
3.1.1	Herkunft und Entwicklung des Wertschöpfungsbegriffes .....	32
3.1.2	Wertschöpfung aus Kundensicht.....	34
3.1.3	Wertschöpfungsbewertung von Produktionssystemen.....	35
3.1.4	Zusammenfassende Erkenntnisse für diese Arbeit .....	37
3.2	Analyse und Darstellung bestehender Ansätze zur urbanen Fabrik und zur Flächeneffizienz .....	38
3.2.1	Kritische Würdigung bestehender Ansätze zur urbanen Fabrik.....	39
3.2.2	Kritische Würdigung bestehender Ansätze zur Flächeneffizienz .....	42
3.2.3	Zusammenfassung der Defizite bestehender Ansätze.....	47
3.3	Zwischenfazit und Forschungsbedarf .....	49

---

<b>4</b>	<b>Konzeption des Lösungsmodells zur Steigerung der Flächeneffizienz</b> .....	<b>53</b>
4.1	Anforderungen an die Nutzung von Urbanisierungspotenzialen im Sinne der Steigerung der Flächeneffizienz .....	53
4.1.1	Inhaltliche Anforderungen an das Modell .....	54
4.1.2	Formale Anforderungen an das Modell .....	56
4.2	Entwurf eines Ordnungsrahmens .....	57
4.2.1	Die urbane Fabrik aus systemischer Sicht .....	57
4.2.2	Ableitung des Ordnungsrahmens .....	59
4.3	Konzept der Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	61
4.3.1	Merkmalbasierte Beschreibung von Einflussfaktoren auf Fabriken im urbanen Umfeld .....	63
4.3.2	Erklärung von Wirkbeziehungen zwischen urbanen Anforderungen .....	65
4.3.3	Beschreibung und Bewertung der Flächeneffizienz .....	68
4.3.4	Analyse von Gestaltungsoptionen zur Ableitung von Effizienzpotenzialen .....	70
4.3.5	Anwendung von Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	73
4.4	Zwischenfazit und Lösungshypothese .....	74
<b>5</b>	<b>Ausgestaltung der Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz</b> .....	<b>77</b>
5.1	Systematische Beschreibung der Einflussfaktoren in der Infrastruktur-, Prozess-, und der Technologiedomäne.....	78
5.1.1	Beeinflussende Umstände auf Fabrikflächen in den Domänen Infrastruktur, Prozesse und Technologie .....	79
5.1.2	Identifikation der Merkmale zur morphologischen Analyse .....	83

---

5.1.3	Analyse enthaltender Lösungen in morphologischen Matrizen .....	89
5.1.4	Bewertung der Relevanz der Einflussfaktoren.....	90
5.2	Erklärung der Wirkbeziehungen zwischen den urbanen Anforderungen .....	93
5.2.1	Darstellung der Anforderungen und Systembeschreibung .....	94
5.2.2	Wirkbeziehungen zwischen den Anforderungen.....	105
5.2.3	Integration des Wirkungsgefüges im Sensitivitätsmodell .....	110
5.2.4	Ableitung von Anforderungsbereichen.....	114
5.3	Bewertung der Flächeneffizienz von Fabriken im urbanen Umfeld .....	118
5.3.1	Entwicklung des Zielsystems zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	120
5.3.2	Identifikation von Kennzahlen zur Bewertung der Flächeneffizienz .....	129
5.3.3	Synthese der Bewertungsparameter in die Kennzahlensystemarchitektur .....	136
5.4	Bestimmung der Flächeneffizienzpotenziale zur Steigerung der Flächeneffizienz.....	137
5.4.1	Analyse der Gestaltungsoptionen zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	138
5.4.2	Wirkzusammenhänge zwischen flächenbezogenen Anforderungen und bewerteten Gestaltungsoptionen .....	144
5.4.3	Priorisierung der Gestaltungsoptionen zur Ableitung von spezifischen Flächeneffizienzpotenzialen .....	152
5.5	Vorgehen zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	158
5.5.1	Konzeption des Vorgehensmodells für die Auswahl der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz.....	158
5.5.2	Definition von Teilprozessmodellen .....	160
5.5.3	Anwendungszusammenhang des Vorgehensmodells .....	166



---

<b>6 Validierung und kritische Reflexion.....</b>	<b>167</b>
6.1 Validierung am Beispiel der Konsumgüter GmbH.....	167
6.1.1 Ausgangssituation der Konsumgüter GmbH.....	168
6.1.2 Anwendung des Vorgehensmodells zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	169
6.2 Kritische Reflexion der exemplarischen Anwendung .....	180
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>185</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>191</b>
<b>A Anhang .....</b>	<b>207</b>
A.1 Grundlagen der Analyse und Modellierung von Systemen .....	207
A.2 Übersicht über interne und externe Einflussfaktoren auf urbane Fabriken aus der Literatur .....	211
A.3 Übersicht über interne und externe Einflussfaktoren auf die Flächennutzung aus den Experteninterviews .....	213
A.4 Urbane Einflussfaktoren in den Domänen Infrastruktur, Prozesse und Technologie .....	215
A.5 Merkmale und ihre Ausprägungen zur Beschreibung der Einflussfaktoren auf Fabriken im urbanen Umfeld.....	217
A.6 Leitfaden für die Experteninterviews zur Ermittlung der Flächenanforderungen .....	221
A.7 Ergebnisse der Auswertung der Experteninterviews.....	224
A.8 Wirkbeziehungen zwischen den Anforderungen.....	226
A.9 Wechselseitige Zielbeziehungen im Zielsystem zur Steigerung der Flächeneffizienz.....	227

A.10	Übersicht über das Kennzahlensystem zur Steigerung der Flächeneffizienz.....	228
A.11	Technologiesteckbriefe für die Gestaltungsoptionen zur Steigerung der Flächeneffizienz.....	237
A.12	Einflussmatrix der Gestaltungsoptionen zur Steigerung der Flächeneffizienz im Kontext des Zielsystems.....	244
A.13	Kontingenzanalyse zwischen den Gestaltungsoptionen zur Steigerung der Flächeneffizienz und den Anforderungen .....	245
A.14	Steckbriefe der Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz von Fabriken im urbanen Umfeld .....	246

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1-1: Unterteilung innerhalb der Wissenschaftssystematik.....	5
Abbildung 1-2: Iterativer Forschungsprozess der vorliegenden Arbeit .....	6
Abbildung 1-3: Heuristischer Bezugsrahmen des Forschungsvorhabens.....	7
Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit .....	8
Abbildung 2-1: Interdependenzen von Fabriken mit dem urbanen Umfeld .....	12
Abbildung 2-2: Relevante Akteure im „Kompass der urbanen Produktion“ .....	13
Abbildung 2-3: Relevante Handlungsfelder urbaner Produktion .....	15
Abbildung 2-4: Unterteilung der Flächennutzungsarten nach DIN 277-1/ VDI 3644 .....	17
Abbildung 2-5: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland [ha/Tag] .....	19
Abbildung 2-6: Die Ressourcen der urbanen Fabrik basierend auf JURASCHEK ET AL.....	21
Abbildung 2-7: Prozess des Anforderungsmanagements nach IEEE.....	25
Abbildung 2-8: Beispielhafte Herausforderungen in der urbanen Flächennutzung .....	26
Abbildung 2-9: Übersicht über die Unterteilung der Flächenarten nach ERLACH.....	27
Abbildung 2-10: Eigene Studienergebnisse zur industriellen Flächennutzung urbaner Fabriken .....	28
Abbildung 3-1: Die generische Wertschöpfungskette nach PORTER .....	34

---

Abbildung 4-1: Einflüsse auf die inhaltlichen Anforderungen an das Lösungskonzept .....	54
Abbildung 4-2: Struktur eines sozio-technischen Systems .....	58
Abbildung 4-3: Ableitung des Ordnungsrahmens der vorliegenden Arbeit .....	61
Abbildung 4-4: Konzept des Lösungsmodells .....	61
Abbildung 4-5: Merkmalbasierte Beschreibung von Einflussfaktoren .....	63
Abbildung 4-6: Entwicklungsschritte für das Sensitivitätsmodell .....	66
Abbildung 4-7: Entwicklungsschritte für das Ziel- und Kennzahlensystem.....	68
Abbildung 4-8: Entwicklungsschritte zur Bestimmung der Flächeneffizienzpotenziale .....	71
Abbildung 4-9: Entwicklungsschritte für die Anwendung des Vorgehensmodells.....	73
Abbildung 4-10: Teilmodelle für die Entwicklung und Anwendung der Strategien zur Steigerung der Flächeneffizienz .....	76
Abbildung 5-1: Struktur des Lösungsmodells und dazugehörige Forschungsfragen .....	77
Abbildung 5-2: Detaillierte Entwicklungsschritte des Beschreibungsmodells.....	79
Abbildung 5-3: Ergebnis der Experteninterviews zu bestehenden urbanen Einflüssen .....	82
Abbildung 5-4: Adaption der Ishikawa-Diagramme zur Ursache-Wirkungs- Analyse urbaner Fabriken .....	83
Abbildung 5-5: Beeinflussung der Fläche durch ökologisch-rechtliche Aspekte .....	84
Abbildung 5-6: Beeinflussung der Fläche durch sozio-technische Aspekte.....	85
Abbildung 5-7: Beeinflussung der Fläche durch baulich-wirtschaftliche Aspekte .....	86
Abbildung 5-8: Beeinflussung der Fläche durch logistisch-infrastrukturelle Aspekte .....	87
Abbildung 5-9: Domänenspezifische Übersicht über die Einflussfaktoren .....	88

---

Abbildung 5-10: Identifikation von Merkmalen für die morphologischen Matrizen .....	90
Abbildung 5-11: Wirkzusammenhänge der Einflussfaktoren auf die Flächenarten .....	91
Abbildung 5-12: Detaillierte Entwicklungsschritte des Sensitivitätsmodells.....	93
Abbildung 5-13: Vorgehen zur Identifikation der Flächenanforderungen.....	94
Abbildung 5-14: Übersicht der domänenspezifischen Zuordnung der Flächenanforderungen.....	97
Abbildung 5-15: Vorgehen bei der Entwicklung des Wechselwirkungsnetzes .....	106
Abbildung 5-16: Übersicht über die Wirkbeziehungen zwischen den Domänen .....	107
Abbildung 5-17: Wechselwirkungsnetz der urbanen Anforderungen.....	110
Abbildung 5-18: Skalierung der Wirkbeziehungen im Sensitivitätsmodell.....	111
Abbildung 5-19: Übersicht über die gegenseitige Beeinflussung der Anforderungen.....	112
Abbildung 5-20: Visualisierung der Rollenverteilung der Anforderungen im Sensitivitätsmodell.....	113
Abbildung 5-21: Übersicht über die identifizierten Anforderungsbereiche .....	115
Abbildung 5-22: Detaillierte Entwicklungsschritte des Bewertungsmodells .....	119
Abbildung 5-23: Zielsystemstruktur mit Ober- und Zwischenzielen .....	122
Abbildung 5-24: Zielmenge des Subsystems „Flächenbedarfsreduktion“ .....	124
Abbildung 5-25: Zielmenge des Subsystems „Wertschöpfungssteigerung“ .....	126
Abbildung 5-26: Zielmenge des Subsystems „Flächennutzungsintensivierung“ .....	127
Abbildung 5-27: Identifizierte Zielbeziehungen zwischen den Oberzielen .....	128
Abbildung 5-28: Kennzahlen des Subsystems „Flächenbedarfsreduktion“ .....	130
Abbildung 5-29: Kennzahlen des Subsystems „Wertschöpfungssteigerung“ .....	134

Abbildung 5-30: Kennzahlen des Subsystems „Flächennutzungsintensivierung“ .....	136
Abbildung 5-31: Übertragung der Zielbeziehungen auf das Kennzahlensystem .....	136
Abbildung 5-32: Detaillierte Entwicklungsschritte des Erklärungsmodells.....	137
Abbildung 5-33: Übersicht über die Strukturebenen und die flächenbeeinflussenden Gestaltungsoptionen in der Domäne „Infrastruktur“ .....	139
Abbildung 5-34: Domänenspezifische Übersicht über die Gestaltungsoptionen .....	141
Abbildung 5-35: Technologiesteckbrief „Geteilte Infrastruktur und Sharing- Modelle“ .....	141
Abbildung 5-36: Ergebnisstruktur der Einflussanalyse zwischen Gestaltungsoptionen und Zielerfüllungsgrad der Unterziele .....	142
Abbildung 5-37: Analyse der Unterziele durch die Passivsummen in der Einflussmatrix .....	143
Abbildung 5-38: Vorgehensweise zur Identifikation der Wechselwirkungen zwischen Gestaltungsoptionen und Anforderungen .....	145
Abbildung 5-39: Identifizierte Wirkzusammenhänge zwischen den infrastrukturellen Gestaltungsoptionen und den flächenbezogenen Anforderungen .....	147
Abbildung 5-40: Identifizierte Wirkzusammenhänge zwischen den prozessualen Gestaltungsoptionen und den flächenbezogenen Anforderungen .....	149
Abbildung 5-41: Identifizierte Wirkzusammenhänge zwischen den technologischen Gestaltungsoptionen und den flächenbezogenen Anforderungen .....	151
Abbildung 5-42: Zuordnung der Anforderungsbereiche zur morphologischen Analyse .....	153
Abbildung 5-43: Übersicht über die Anforderungsbereiche und Zuordnung zu morphologischen Aspekten .....	154

---

Abbildung 5-44: Exemplarische Auswahl und Priorisierung der Gestaltungsoptionen anhand „Anforderungsbereich 6“ .....	155
Abbildung 5-45: Gegenüberstellung der generischen und der im urbanen Umfeld beeinflussten Gestaltungsoptionen .....	157
Abbildung 5-46: Detaillierte Entwicklungsschritte des Vorgehensmodells.....	158
Abbildung 5-47: Übersicht über die Prozessschritte im Vorgehensmodell .....	159
Abbildung 5-48: Grundelemente der Notation der gewählten Prozessmodellierung.....	160
Abbildung 5-49: Teilprozess zur qualitativen Analyse des Status Quo .....	160
Abbildung 5-50: Teilprozess zur Einordnung in die morphologische Matrix.....	161
Abbildung 5-51: Teilprozess zur Zuordnung des Anforderungsbereiches .....	161
Abbildung 5-52: Teilprozess zur Auswahl der Anforderungen im Anforderungsbereich und der relevanten Gestaltungsoptionen .....	162
Abbildung 5-53: Teilprozesse zur Priorisierung und Sortierung der Gestaltungsoptionen .....	163
Abbildung 5-54: Teilprozess zur Ableitung der spezifischen Flächeneffizienzpotenziale .....	164
Abbildung 5-55: Teilprozess zur Festlegung der Umsetzungsstrategie .....	164
Abbildung 5-56: Teilprozess zur Berechnung und Dokumentation des relativen Flächeneffizienzpotenzials.....	165
Abbildung 5-57: Situative Anpassungsmöglichkeiten des Vorgehensmodells.....	166
Abbildung 6-1: Domänenspezifische Einordnung der urbanen Einflüsse bei der Konsumgüter GmbH .....	172
Abbildung 6-2: Merkmale und Ausprägungen zur Beschreibung der urbanen Einflussfaktoren bei der Konsumgüter GmbH .....	173
Abbildung 6-3: Zuordnung des ausgewählten Anforderungsbereiches für die Konsumgüter GmbH.....	173

Abbildung 6-4: Einfluss auf den Zielerfüllungsgrad und Bewertung der Gestaltungsoptionen bei der Konsumgüter GmbH.....	175
Abbildung 6-5: Übersicht über die bewerteten und priorisierten Gestaltungsoptionen zur Steigerung der Flächeneffizienz bei der Konsumgüter GmbH .....	176
Abbildung 6-6: Profil der Flächeneffizienzpotenziale der Konsumgüter GmbH.....	177
Abbildung 6-7: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz bei der Konsumgüter GmbH .....	179
Abbildung 6-8: Abgedeckte Prozessvarianten im Kontext der Validierung .....	182
Abbildung A-1: Grundbegriffe und Zusammenhänge eines Systems .....	207
Abbildung A-2: Konzepte der Systemtheorie nach ROPOHL.....	208
Abbildung A-3: Wechselseitige Wirkbeziehungen der flächenrelevanten Anforderungen an Fabriken im urbanen Umfeld.....	226
Abbildung A-4: Wechselseitige Zielbeziehungen der Unterziele im Zielsystem .....	227
Abbildung A-5: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Nachverdichtung im Bestand" .....	237
Abbildung A-6: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Raummodule und Systemelemente" .....	237
Abbildung A-7: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Nutzung ungenutzter (Reserve-) Flächen" .....	237
Abbildung A-8: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Geteilte Infrastruktur und Sharing-Modelle" .....	238
Abbildung A-9: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Anpassung des Mobilitätskonzeptes".....	238
Abbildung A-10: Steckbrief der Gestaltungsoption "Variable, funktionale Nutzung der Prozesse" .....	238
Abbildung A-11: Steckbrief der Gestaltungsoption "Variable, zeitliche Nutzung der Prozesse" .....	239



---

Abbildung A-12: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Prozessoptimierung durch Lean Methoden".....	239
Abbildung A-13: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Erhöhung der Logistikleistung und Lieferfrequenz".....	239
Abbildung A-14: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Prozessoutsourcing".....	240
Abbildung A-15: Steckbrief der Gestaltungsoption "Prozessintegration".....	240
Abbildung A-16: Steckbrief der Gestaltungsoption "Prozesskompetenz der Lieferanten".....	240
Abbildung A-17: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Prozess- und Bedarfsglättung".....	241
Abbildung A-18: Steckbrief zur Gestaltungsoption "Vertikalisierung von Logistiktechnologien".....	241
Abbildung A-19: Steckbrief der Gestaltungsoption "Vertikalisierung von Produktionstechnologien".....	241
Abbildung A-20: Steckbrief der Gestaltungsoption "Vertikalisierung von Lagertechnologien".....	242
Abbildung A-21: Steckbrief der Gestaltungsoption "Automatisierung und Digitalisierung in der Produktion".....	242
Abbildung A-22: Steckbrief der Gestaltungsoption "Automatisierung und Digitalisierung in der Logistik".....	242
Abbildung A-23: Steckbrief der Gestaltungsoption "Technologieinnovationen".....	243
Abbildung A-24: Steckbrief der Gestaltungsoption "Simulation von Produktions- und Logistiktechnologien".....	243
Abbildung A-25: Bewertung der domänenspezifischen Gestaltungsoptionen anhand des Zielsystems.....	244
Abbildung A-26: Darstellung der Kontingenzanalyse.....	245
Abbildung A-27: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz für Anforderungsbereich 1.....	246

Abbildung A-28: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz für Anforderungsbereich 2 .....	246
Abbildung A-29: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz für Anforderungsbereich 3 .....	247
Abbildung A-30: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz für Anforderungsbereich 4 .....	247
Abbildung A-31: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz für Anforderungsbereich 5 .....	248
Abbildung A-32: Steckbrief der Strategie zur Steigerung der Flächeneffizienz für Anforderungsbereich 6 .....	249

## Verzeichnis der Abkürzungen

AS	Aktivsumme
ASR	Arbeitsstättenrichtlinie/ Technische Regeln für Arbeitsstätten
Aufl.	Auflage
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BPMN	Business Process Model and Notation
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
chem.	chemisch
CIRP	Internationale Akademie für Produktionstechnik
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
engl.	Englisch
et al.	et alii bzw. und andere
f.	folgende
ff.	fortfolgende
FMCG	Fast Moving Consumer Goods
F&E	Forschung und Entwicklung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
Hrsg.	Herausgeber

i.A.a.	in Anlehnung an
Jg.	Jahrgang
mech.	Mechanisch
Nr.	Nummer
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OFE	Overall Factory Effectiveness
OTE	Overall Throughput Effectiveness
PS	Passivsumme
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
S.	Seite
SPSS	Sammeln, Prüfen, Sortieren, Subsumieren
TEEP	Total Effective Equipment Performance
therm.	thermisch
u.	und
u.a.	unter anderem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
Verl.	Verlag
vgl.	vergleiche
WZL	Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University
z.B.	zum Beispiel