



HERBERT UTZ VERLAG WISSENSCHAFT

**FORSCHUNGSBERICHTE**

**212**

**Niklas Möller**

**Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger  
Produktionssysteme**





Lehrstuhl für  
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik  
der Technischen Universität München

**Bestimmung der Wirtschaftlichkeit  
wandlungsfähiger Produktionssysteme**

**Niklas Möller**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer,  
Universität Karlsruhe (TH)

Die Dissertation wurde am 18.10.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 02.02.2008 angenommen.



Niklas Möller

**Bestimmung der Wirtschaftlichkeit  
wandlungsfähiger Produktionssysteme**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 212

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2008

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2008

ISBN 978-3-8316-0778-5

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utz.de](http://www.utz.de)

## Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.



## Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, dem Leiter des wbk Institut für Produktionstechnik der Universität Karlsruhe (TH), möchte ich mich für die Übernahme des Koreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie allen Studierenden. Sie prägen das Institut und schaffen gemeinsam eine Atmosphäre, in der trotz hoher zeitlicher Belastung die Freude an der Arbeit nicht zu kurz kommt. Die Mitglieder des Forschungsfelds Wandlungsfähige Produktion haben durch zahlreiche kritische und sehr offene Diskussionen einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Arbeit geleistet. Besonders hervorheben möchte ich Herrn Dr.-Ing. Wolfgang Sudhoff, durch dessen fachliche und moralische Hilfe ich manches Tal bei der Optionsbewertung leichter durchschreiten konnte, sowie Herrn Christoph Rimpau, der mich nicht nur bei der Programmierung in zahlreichen Nachtschichten unterstützt hat. Gleichzeitig möchte ich ihnen, Herrn Pascal Krebs sowie meiner Schwester Kristin für die kritische Durchsicht der Arbeit danken. Herrn Florian Aull und Herrn Patrick Neise danke ich für Rat und Unterstützung während meiner Institutszeit.

Dank für die fachliche Unterstützung schulde ich auch Herrn Dr.-Ing. Bernd Müssig von der Siemens AG. Seine Begeisterung für die Thematik sowie seine Erfahrungen und zahlreichen Anregungen haben wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Diese Arbeit konnte nur durch die Unterstützung meiner Eltern entstehen. Sie haben mir meine Ausbildung ermöglicht und dadurch sowie durch ihr Vertrauen den Weg zur Promotion geebnet. Für diesen Rückhalt danke ich ihnen sehr. Nicht zuletzt und in besonderem Maße danke ich Franziska für ihre Geduld und ihr Verständnis für meine dissertationsbedingten Stimmungsschwankungen insbesondere im letzten Jahr vor Abgabe der Arbeit.

München, im April 2008

*Niklas Möller*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XV</b>
<b>Formelzeichen.....</b>	<b>XIX</b>
Große und kleine griechische Buchstaben.....	XIX
Große lateinische Buchstaben.....	XX
Kleine lateinische Buchstaben.....	XXIII
Mathematische Zeichen und Konstanten.....	XXV
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit.....	5
1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs.....	7
1.3.1 Begriffsdefinitionen.....	7
1.3.2 Eingrenzung des Betrachtungsbereichs .....	8
1.4 Aufbau der Arbeit .....	11
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>13</b>
2.1 Wandlungsfähigkeit als Zielgröße in der Fabrikplanung.....	13
2.1.1 Allgemeines .....	13
2.1.2 Flexibilität.....	13
2.1.3 Wandlungsfähigkeit.....	15
2.1.4 Rezeptormodell der wandlungsfähigen Produktion .....	21
2.1.5 Charakterisierung der Problemstellung .....	25

2.2	Investitionsbewertung unter Unsicherheit .....	28
2.2.1	Investitionsrechenverfahren zur Bewertung unter Unsicherheit.....	28
2.2.2	Theorie der Realoptionen .....	35
2.2.3	Wandlungsfähigkeit als ein Bündel von Realoptionen .....	39
2.2.4	Systematik der Realoptionen.....	43
2.3	Lebenszyklusbewertung von Produktionssystemen .....	47
2.4	Zwischenfazit.....	49
<b>3</b>	<b>Stand der Erkenntnisse .....</b>	<b>51</b>
3.1	Untersuchungsrahmen.....	51
3.2	Bewertungsansätze aus der Fabrikplanung.....	52
3.3	Optionsorientierte Ansätze.....	57
3.4	Lebenszyklusorientierte Ansätze .....	60
3.5	Zwischenfazit .....	65
<b>4</b>	<b>Anforderungen an eine Methode zur Bewertung wandlungsfähiger Produktionssysteme .....</b>	<b>67</b>
4.1	Allgemeines .....	67
4.2	Allgemeine Anforderungen .....	67
4.3	Spezielle Anforderungen an das Bewertungsverfahren.....	68
4.4	Spezielle Anforderungen an die Modellierung des Unternehmensumfeldes.....	69
4.5	Spezielle Anforderungen für die praktische Anwendung.....	70
4.6	Zusammenfassung.....	71
<b>5</b>	<b>Bewertung von Realoptionen.....</b>	<b>73</b>
5.1	Allgemeines .....	73
5.2	Fundamentalprinzipien der Optionsbewertung.....	73
5.2.1	Arbitragefreiheit bei stochastischen Zahlungsströmen .....	73
5.2.2	Bewertung mit Hilfe von Duplikationsportfolios.....	74
5.3	Verfahren zur Realoptionsbewertung .....	78

5.3.1	Allgemeines .....	78
5.3.2	Optionspreismodelle .....	78
5.3.3	Ansätze zur Bestimmung des Underlying einer Realoption.....	80
5.4	Auswahl eines Bewertungsverfahrens .....	82
5.5	Zwischenfazit und kritische Würdigung der Realoptionstheorie.....	84
<b>6</b>	<b>Methode zur Bewertung wandlungsfähiger Produktionssysteme.....</b>	<b>87</b>
6.1	Bewertungsvorgehen und Aufbau der Methode .....	87
6.2	Annahmen und Eingrenzungen .....	89
6.3	Bewertungsorientierte Modellierung der Produktion .....	90
6.3.1	Modellbestandteile und Vorgehensschritte.....	90
6.3.2	Umfeldprofil .....	92
6.3.2.1	Begriffsklärung.....	92
6.3.2.2	Übernahme der Planungsdaten .....	92
6.3.2.3	Aufnahme des Planungsumfeldes .....	93
6.3.3	Kostenprofile .....	97
6.3.3.1	Begriffsklärung.....	97
6.3.3.2	Anforderungen an ein Kostenmodell zur Bewertung wandlungsfähiger Produktionssysteme .....	97
6.3.3.3	Entwicklung eines Kostenmodells zur Bewertung wandlungsfähiger Produktionssysteme .....	98
6.3.3.4	Auswahl von Kostenelementen .....	102
6.3.4	Optionsprofile .....	103
6.3.4.1	Begriffsklärung.....	103
6.3.4.2	Handlungsmöglichkeiten zur Veränderung der Produktion .....	103
6.3.4.3	Filterung von Scheinoptionen .....	107
6.3.5	Zusammenfassung .....	111
6.4	Bewertung .....	112
6.4.1	Vorgehensschritte .....	112
6.4.2	Basisbewertung bei erwarteter Zukunft und starrer Planung ..	113
6.4.3	Dynamisches Grundmodell.....	118
6.4.3.1	Quantitative Beschreibung von Unsicherheiten.....	118

6.4.3.2	Leistungsgrenzen der Alternativen ohne Realoptionen.....	124
6.4.4	Quantitative Optionsauswahl und -priorisierung .....	126
6.4.4.1	Allgemeines.....	126
6.4.4.2	Äußeres Potenzial einer Optionsausübung .....	126
6.4.4.3	Inneres Potenzial einer Optionsausübung.....	129
6.4.4.4	Priorität der einzelnen Realoptionen.....	130
6.4.5	Auswahl und Modellierung primärer und sekundärer Unsicherheiten.....	133
6.4.5.1	Allgemeines.....	133
6.4.5.2	Anforderungen an eine primäre Unsicherheit.....	133
6.4.5.3	Bestimmung der grundlegenden Form des Baumes und Auswahl der primären Unsicherheit .....	135
6.4.5.4	Baumparameter .....	136
6.4.5.5	Modellierung sekundärer Unsicherheiten .....	138
6.4.5.6	Zwischenfazit .....	140
6.4.6	Berechnung des Optionswertes .....	140
6.4.6.1	Allgemeines.....	140
6.4.6.2	Bestimmung der Zahlungsströme .....	142
6.4.6.3	Abgrenzung eines Basisobjektes.....	144
6.4.6.4	Berücksichtigung von Realoptionen und Bestimmung des erweiterten Kapitalwertes .....	146
6.5	Analyse.....	153
6.5.1	Allgemeines .....	153
6.5.2	Entscheidung über eine Fortführung der Bewertung .....	154
6.5.3	Ergebnisdarstellung .....	155
6.5.4	Entscheidungsfindung .....	157
6.6	Zwischenfazit .....	159
<b>7</b>	<b>Umsetzung der Methode .....</b>	<b>161</b>
7.1	Allgemeines .....	161
7.2	Softwarewerkzeug PlantCalc® .....	161
7.2.1	Allgemeines .....	161

7.2.2	Modulbibliothek.....	162
7.2.3	Modul- und Projektverwaltung.....	166
7.3	Anwendungsbeispiel .....	167
7.3.1	Beschreibung des Anwendungsbeispiels.....	167
7.3.2	Bewertungsorientiertes Modell der Produktion.....	168
7.3.3	Bewertung.....	174
7.3.3.1	Basisbewertung .....	174
7.3.3.2	Dynamisches Grundmodell .....	174
7.3.3.3	Quantitative Optionsauswahl und Auswahl primärer und sekundärer Unsicherheiten .....	175
7.3.3.4	Realloptionsbewertung.....	177
7.4	Bewertung des Vorgehens.....	180
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>185</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>189</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>217</b>
10.1	Handlungsmöglichkeiten zur Anpassung der Produktion.....	217
10.1.1	Personal und Organisation .....	217
10.1.2	Betriebsmittel.....	219
10.1.3	Material .....	221
10.1.4	Gebäude und Fläche.....	222
10.2	Stochastische Prozesse .....	224
10.2.1	Relevante Verteilungsfunktionen .....	224
10.2.2	Bestimmung von Konfidenzintervallen.....	228
10.3	Übersetzungen englischer Zitate .....	230
10.4	Genannte Firmen.....	231
10.5	Genutzte Softwareprodukte.....	232



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Effizienz durch Wandlungsfähigkeit .....	2
Abbildung 2:	Fabrikebenen nach Ressourcen- und Raumsicht (in Anlehnung an NYHUIS ET AL. 2005, WESTKÄMPER 2006, WIEN-DAHL ET AL. 2007) .....	10
Abbildung 3:	Aufbau der Arbeit .....	12
Abbildung 4:	Zusammenhang zwischen Wandlungsfähigkeit, Reaktionsfähigkeit und Flexibilität (REINHART 2000, S. 39)....	17
Abbildung 5:	Abgrenzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit (in Anlehnung an ZAEH ET AL. 2005b, S. 4) .....	21
Abbildung 6:	Darstellung des offenen Systems Produktion (in Anlehnung an SCHMIGALLA 1995, S. 82, SPUR 1994, S. 21 f.) .....	22
Abbildung 7:	Rezeptormodell einer wandlungsfähigen Produktion (in Anlehnung an CISEK ET AL. 2002, S. 442) .....	25
Abbildung 8:	Prinzipdarstellung der Entwicklung der Unsicherheit eines Projektes über die Zeit am Beispiel von zwei Einflussgrößen ..	27
Abbildung 9:	Beispielhafte Auswertung einer Monte-Carlo-Simulation in Form eines Histogramms (vgl. REINHART ET AL. 2006, S. 190).....	30
Abbildung 10:	Beispielhafte Nachfrageentwicklung über zwei Perioden .....	31
Abbildung 11:	Beispielhafte Anwendung des Entscheidungsbaumverfahrens .	33
Abbildung 12:	Auszahlungsprofile für Käufer von Aktien und Optionen .....	37
Abbildung 13:	Auszahlungsprofil einer Kombination aus Aktie und Put-Option.....	38
Abbildung 14:	Gegenüberstellung der Charakteristika von Wandlungsfähigkeit und Realoptionen .....	39
Abbildung 15:	Wertentwicklung eines Investitionsprojektes über die Zeit mit als Dividenden interpretierten Zahlungsströmen.....	42

Abbildung 16: Kategorisierung und Typisierung von Realoptionen (in Anlehnung an COPELAND & KEENAN 1998, S. 48, HUNGENBERG ET AL. 2005, S. 19) .....	46
Abbildung 17: Divergierende Lebenszyklen von Produkten, Technologien und Gebäude (in Anlehnung an SCHENK & WIRTH 2004, S. 106).....	48
Abbildung 18: Übersicht der Anforderungen an eine Methode zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme .....	72
Abbildung 19: Preise und zustandsbedingte Zahlungen von drei Wertpapieren .....	74
Abbildung 20: Beispielhafte Wertepprofile von Aktie, risikoloser Anleihe und Kaufoption für die Zeitpunkte $t=0$ und $t=1$ , dargestellt in einem vereinfachten binomischen Modell .....	75
Abbildung 21: Überblick der Optionspreismodelle (in Anlehnung an BAECKER ET AL. 2003, S. 26, HUNGENBERG ET AL. 2005, S. 8).....	79
Abbildung 22: Bestandteile der Methode zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme und wesentliche Schritte eines iterativen Bewertungsprozesses .....	88
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen den einzelnen Vorgehensschritten zur Vorbereitung der Realoptionsbewertung.....	91
Abbildung 24: Schema zum Aufstellen eines qualitativen Umfeldprofils mit beispielhafter ausgewählten Rezeptoren, Führungsgrößen .....	95
Abbildung 25: Kostengliederungsstruktur zur Bewertung von Produktionssystemen auf der obersten Ebene mit beispielhafter Detaillierung eines Kostenelementes (in Anlehnung an DIN EN 60300-3-3, S. 14).....	101
Abbildung 26: Suchraum zur Identifikation von Handlungsmöglichkeiten in der Produktion bei Veränderung des Umfeldes .....	105
Abbildung 27: Auszug aus dem Katalog der Handlungsmöglichkeiten für das Gestaltungsfeld Betriebsmittel auf der Ebene Arbeitsstation.....	106

---

Abbildung 28: Vorgehen zur Bestimmung von Maßnahmen aus dem Katalog der Handlungsmöglichkeiten, die das Kriterium einer Signifikanz der Unsicherheit erfüllen .....	109
Abbildung 29: Vorgehensschritte zur Bewertung der zu vergleichenden Alternativen unter Einbeziehung des Wertes identifizierter Realoptionen .....	113
Abbildung 30: Entscheidungsprozess zur Auswahl der in eine Realoptionsbewertung einzubeziehenden Konzepte mit illustrierendem Beispiel .....	117
Abbildung 31: Einteilung von Unsicherheiten.....	119
Abbildung 32: Darstellung von als Random Walk, Brownsche Bewegung mit Drift und Geometrisch Brownsche Bewegung mit Drift modellierten stochastischen Prozessen $X(t)$ .....	122
Abbildung 33: Modellierung stochastischer Ereignisse mit diskretem und stetigem Wertebereich für eine Zufallsvariable $X$ sowie Abbildung abhängiger Ereignisse in Ereignisbäumen.....	123
Abbildung 34: Tornado-Diagramm zur Visualisierung des Einflusses von Unsicherheiten .....	127
Abbildung 35: Darstellung der Berechnung des äußeren Potenzials einer Optionsausübung mit den Bestandteilen „Risiko“ und „Chance“ .....	128
Abbildung 36: Ermittlung des wirtschaftlichen Potenzials von Realoptionen aus ihrem inneren sowie dem jeweils korrespondierenden äußeren Potenzial der Alternativen.....	132
Abbildung 37: Modellierung von Informationszuwachs und explizite Darstellung einer Entscheidungssituation in einem Baum am Beispiel der Stückzahlentwicklung als primäre Unsicherheit .	134
Abbildung 38: Vergleichende Darstellung von quadranomialen rekombinierenden und nicht-rekombinierenden Bäumen sowie Illustration von Pfadabhängigkeit .....	135

Abbildung 39: Anwendung der Monte-Carlo-Simulation in Kombination mit einem binomialen Baum zur Ableitung eines Risiko-profils.....	139
Abbildung 40: Iterativer Prozess der Realloptionsbewertung .....	142
Abbildung 41: Berechnung der Zahlungsströme in Abhängigkeit von den diskreten Zuständen der primären Unsicherheit für die zu ver-gleichenden technischen Alternativen und deren alternative Betriebsmodi.....	143
Abbildung 42: Berechnung des erweiterten Kapitalwertes der Alternative $j$ durch Berücksichtigung des Wertes vorhandener Realloptio-nen und Duplikation der Zahlungsströme .....	147
Abbildung 43: Bestimmung der Differenzzahlungsreihe einer Realoption ....	149
Abbildung 44: Verkürzte Baumdarstellung mit einer semi-deterministischen Fortführung des unsicheren Umfeldes.....	150
Abbildung 45: Verdeutlichung der Optimierungsbedingung für die Aus-übung von Optionen bei einem Time lag von $T_X = \tau = 2$ .....	151
Abbildung 46: Prozess zur Entscheidung über die Fortführung der Bewertung.....	155
Abbildung 47: Mögliche Visualisierung des Ergebnisses der Berechnungen in Form einer Projektwertverteilung, Deckungsbeitrags- und EBIT-Entwicklung.....	156
Abbildung 48: Modulklassen in der PLANTCALC <sup>®</sup> -Bibliothek (ZAEH ET AL. 2006, S. 703) .....	163
Abbildung 49: Auszug aus einer beispielhaften Kostengliederungsstruktur in der Modulbibliothek von PLANTCALC <sup>®</sup> .....	164
Abbildung 50: Prinzipdarstellung des Datenaustausches zwischen den Mo-dulen von PLANTCALC <sup>®</sup> .....	165
Abbildung 51: Vorgehen bei der Konfiguration eines Projektes (in An-lehnung an REINHART ET AL. 2007) .....	167
Abbildung 52: Qualitatives Umfeldprofil des dargestellten Fallbeispiels.....	170

---

Abbildung 53: Für das Anwendungsbeispiel alternativenspezifisch ermitteltes äußeres Potenzial einer Optionsausübung für $U_1$ bis $U_5$ ....	176
Abbildung 54: Gewichtung des inneren Potenzial der Realoptionen mit dem äußeren Potenzial der Optionsausübung und Ableitung einer Rangfolge der Realoptionen für das Anwendungsbeispiel.....	177
Abbildung 55: Ermittlung des Wertes der Realoption $O_{2,5}$ des Anwendungsbeispiels in einem binomialen Baum für eine Ziehung der Monte-Carlo-Simulation mit Verdeutlichung der Optionsausübung .....	179
Abbildung 56: Beurteilung der Leistungsfähigkeit der entwickelten Bewertungsmethode.....	182
Abbildung 57: Dichtefunktion der Gleichverteilung .....	224
Abbildung 58: Dichtefunktion der Normalverteilung.....	225
Abbildung 59: Dichtefunktion der Dreiecksverteilung.....	226
Abbildung 60: Dichtefunktion der Binomialverteilung.....	226
Abbildung 61: Dichtefunktion der Poissonverteilung .....	227
Abbildung 62: Dichtefunktion der Lognormalverteilung.....	228

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aufgaben und typische Fragestellungen bei der Planung, Gestaltung und Nutzung von Wandlungsfähigkeit auf strategischer, taktischer und operativer Ebene .....	5
Tabelle 2:	Ergebnisse einer Kapitalwertermittlung bei starrer Planung und quasi-sicherer Zukunft .....	32
Tabelle 3:	Interpretation der Parameter einer Finanzoption bei einer Realoption .....	43
Tabelle 4:	Realoptionstypen (in Anlehnung an TRIGEORGIS 1996, S. 9-14) und exemplarische Auswahl von Referenzen mit Anwendungen des Konzeptes auf produktionstechnische Fragestellungen .....	45
Tabelle 5:	Vergleichende Darstellung der untersuchten Verfahren aus der Fabrikplanung zur Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen .....	56
Tabelle 6:	Vergleichende Darstellung der untersuchten Verfahren aus dem Bereich lebenszyklusorientierter Bewertung .....	64
Tabelle 7:	Detaillierung der Rezeptoren der Produktion .....	94
Tabelle 8:	Wichtige Positionen des Kostenmodells im Fallbeispiel.....	171
Tabelle 9:	Identifizierte Handlungsmöglichkeiten und Filterung von Scheinoptionen für die Alternativen $A_1$ und $A_2$ des Anwendungsbeispiels .....	173
Tabelle 10:	Beschreibung des Basisszenario $z_0$ für das Anwendungsbeispiel .....	174
Tabelle 11:	Wertentwicklung der Alternativen $A_1$ und $A_2$ des Anwendungsbeispiels im Verlauf des iterativen Bewertungsprozesses .....	179
Tabelle 12:	Handlungsmöglichkeiten bezüglich Personal und Organisation.....	218
Tabelle 13:	Handlungsmöglichkeiten bezüglich der Betriebsmittel.....	220

Tabelle 14:	Handlungsmöglichkeiten bezüglich Material.....	221
Tabelle 15:	Handlungsmöglichkeiten bezüglich Gebäude und Fläche .....	223
Tabelle 16:	Deutsche Übersetzung der in der Arbeit verwendeten englischen Zitate.....	230

## Abkürzungsverzeichnis

Hinweis: Einige der aufgeführten englischen Abkürzungen bezeichnen umfassende Methoden oder Konzepte. Sie werden im Deutschen gewöhnlich im Original übernommen und sind deshalb nachfolgend nicht übersetzt. Zur inhaltlichen Erläuterung der jeweiligen Abkürzung sei auf die Ausführungen im Text und die zitierten Quellen verwiesen.

BM	Brownian Motion (deutsch: Brownsche Bewegung)
BPR	Business Process Reengineering
bspw.	beispielsweise
CNC	Computerized Numerical Control (deutsch: numerische Steuerung mit Rechner)
c. p.	ceteris paribus (deutsch: unter sonst gleichen Umständen)
DCF	Discounted Cash Flow (deutsch: diskontierter Zahlungsstrom)
DESYMA	Design of Systems for Manufacture (deutsch: Gestaltung von Produktionssystemen)
DLZ	Durchlaufzeit
DOI	Digital Object Identifier (deutsch: Bezeichner für digital gespeicherte Objekte)
EBIT	Earnings Before Interests and Taxes (deutsch: Gewinn vor Steuern und Zinsen)
engl.	englisch
EURIBOR	Euro Interbank Offered Rate (Zinssatz, zu dem sich Banken untereinander Geld leihen)
F&E	Forschung und Entwicklung
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
GBM	Geometric Brownian Motion (deutsch: Geometrisch Brownsche Bewegung)

i. d. R.	in der Regel
IFA	Institut für Fabrikanlagen und Logistik (der Leibniz Universität Hannover)
IT	Informationstechnologie
<i>iwb</i>	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (der Technischen Universität München)
JiT	Just in Time
JiS	Just in Sequence
KRZ	Kundenreaktionszeit
lat.	lateinisch
LCC	Life Cycle Costing (deutsch: Lebenszykluskostenrechnung)
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PDG	Partielle Differentialgleichung
PLB	Produktions- und Logistikbereich
ppm	Parts per Million (deutsch: Teile pro einer Million)
RO	Realloption
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (Aachen)
Stk.	Stück
TCO	Total Cost of Ownership
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
VaC	Value-at-Chance
VaR	Value-at-Risk
Verf.	Verfasser
WBZ	Wiederbeschaffungszeit

WP	Wertpapier
WZL	Werkzeugmaschinenlabor (der RWTH Aachen)
ZWF	Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb
zzgl.	zuzüglich

