

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VII
Symbolverzeichnis .....	IX
<b>1. Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Ziel der Untersuchung .....	3
1.3 Gang der Untersuchung .....	3
<b>2. Grundlagen der Arbeit</b> .....	<b>7</b>
2.1 Das Internet der Dinge und Selbstorganisation in der Intralogistik ..	7
2.1.1 Die Vision des Internets der Dinge in der Intralogistik .....	7
2.1.2 Definition der Begriffe Internet der Dinge in der Intralogi- stik, Selbstorganisation und Selbststeuerung .....	10
2.1.3 Realisierungen selbstorganisierter Systeme .....	11
2.2 Einfluss von Selbstorganisation auf die Effizienz von Material- flusssystemen .....	14
2.2.1 Überblick .....	14
2.2.2 Logistische Leistungsfähigkeit .....	15
2.2.3 Flexibilität und Wandelbarkeit .....	18
2.2.4 Robustheit .....	21
2.2.5 Datenverfügbarkeit und Services .....	22
2.2.6 Zusammenfassung .....	23
2.3 Definition und Bewertung von Flexibilität und Wandelbarkeit .....	24
2.3.1 Überblick über den Stand der Forschung .....	24
2.3.2 Definition von Flexibilität und Wandelbarkeit .....	31
2.3.3 Bewertung von Flexibilität und Wandelbarkeit .....	32
2.4 Zusammenfassung und Abgrenzung .....	49
<b>3. Methodik zur Quantifizierung der Wandelbarkeit von Material- flusssystemen</b> .....	<b>53</b>
3.1 Anforderungen .....	53
3.1.1 Ziel der Bewertung .....	54
3.1.2 Gegenstand der Bewertung .....	54
3.1.3 Inhaltliche Gütekriterien .....	54

3.1.4	Praktische Gütekriterien . . . . .	55
3.2	Aufbau einer Methodik zur Quantifizierung von Wandelbarkeit . . . . .	55
3.2.1	Überblick . . . . .	55
3.2.2	Kenngrößen zur Beschreibung der Wandelbarkeit . . . . .	59
3.2.3	Beschreibung und Modellierung des Materialflusssystems . . . . .	60
3.2.4	Entwicklung von Umwelt und Bedarf . . . . .	61
3.2.5	Optimierung und Analyse . . . . .	62
3.2.6	Eignung der Methodik bezüglich der Anforderungen . . . . .	63
4.	<b>Eigenschaften der vorgeschlagenen Methodik</b> . . . . .	65
4.1	Der Wert der Wandelbarkeit $\mathcal{W}$ . . . . .	66
4.2	Analytische Betrachtung wesentlicher Eigenschaften von $\mathcal{W}$ . . . . .	68
4.2.1	Berechnung von $\mathcal{W}(FI = 0)$ . . . . .	68
4.2.2	Berechnung von $FI^*$ . . . . .	73
4.2.3	Stetigkeit und Differenzierbarkeit von $\mathcal{W}(FI)$ . . . . .	78
4.3	Zusammenhang zwischen Wandelbarkeit und unbekannter Zukunft . . . . .	81
4.3.1	Problemstellung, Überblick und Lösungsansatz . . . . .	81
4.3.2	Exkurs: Berechnung der idealen Erweiterungen $u$ für ein Kapazitätserweiterungsproblem mit linearem Wachstum und unendlichem Zeithorizont . . . . .	83
4.3.3	Beispiel: Auswertung eines stochastischen Prozesses für $x_B$ . . . . .	85
4.4	Behandlung mehrdimensionaler Probleme . . . . .	87
4.5	Numerische Lösung und Rechenaufwand . . . . .	89
5.	<b>Anwendungsbeispiel: Gepäckförderanlagen</b> . . . . .	91
5.1	Aufgaben und Stand der Technik . . . . .	92
5.2	Das Internet der Dinge in Gepäckförderanlagen . . . . .	94
5.3	Wandlungsbedarf von Gepäckförderanlagen . . . . .	97
5.4	Anwendung der Methodik zur Quantifizierung von Wandelbarkeit . . . . .	100
5.4.1	Kenngrößen zur Beschreibung der Wandelbarkeit . . . . .	100
5.4.2	Beschreibung und Modellierung des Materialflusssystems . . . . .	100
5.4.3	Entwicklung von Umwelt und Bedarf . . . . .	106
5.4.4	Optimale Erweiterungen über den Lebenszyklus . . . . .	107
5.5	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	108
6.	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	113
	<b>Literatur</b> . . . . .	117
A.	<b>Anhang</b> . . . . .	133
A.1	Verwendete MATLAB-Programme zur dynamischen Optimierung . . . . .	133
A.1.1	Hauptprogramm für den eindimensionalen Fall . . . . .	133
A.1.2	Programm $\Phi$ für den eindimensionalen Fall . . . . .	135
A.1.3	Hauptprogramm für den zweidimensionalen Fall . . . . .	136
A.1.4	Programm $\Phi$ für den zweidimensionalen Fall . . . . .	139
A.2	Daten und Angaben zum Anwendungsbeispiel Gepäckförderanlagen . . . . .	142
A.3	Prognose von Passagierzahlen im Anwendungsbeispiel Gepäckförderung . . . . .	145

A.4	Anwendungsbeispiel: Fahrerloses Transportsystem in der Automobilindustrie .....	148
A.4.1	Beschreibung der Anwendung .....	148
A.4.2	Selbstorganisation bei fahrerlosen Transportsystemen .....	149
A.4.3	Anwendung der Methodik und Diskussion .....	150
A.5	Anwendungsbeispiel: Distributionszentrum im Pharmagroßhandel ..	155
A.5.1	Beschreibung der Anwendung .....	155
A.5.2	Selbstorganisation in Distributionszentren .....	156
A.5.3	Anwendung der Methodik und Diskussion .....	157