

Inhaltsübersicht

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Lösungsweg	4
2	Charakteristika und Aufgaben nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	9
2.1	Grundlagen und Rahmenbedingungen eines nachhaltigen Wirtschaftens	10
2.2	Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke	20
2.3	Fallbeispiel: Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke in der Elektronikindustrie	28
2.4	Fazit	37
3	Stoffstrombasierte Modellierung und Bewertung nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	41
3.1	Modellierung vernetzter Produktionssysteme	41
3.2	Bewertung nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	50
3.3	Multikriterielle Bewertung zur Integration der Nachhaltigkeitsindikatoren	64
3.4	Fallbeispiel: Modellierung und Bewertung von Recyclingnetzwerken	77
3.5	Fazit	91
4	Lenkungssystem (Umwelt-)Politik	93
4.1	Folgenabschätzung für Politikoptionen	93
4.2	Dynamisch komplexe Systeme	98
4.3	Fallbeispiel: Folgenabschätzung im Automobilsektor	107
4.4	Fazit	127
5	Produktentwicklung	129
5.1	Produktlebenszyklus	129
5.2	Life Cycle Costing	135
5.3	Fallbeispiel: Lebenszykluskosten komplexer Elektronikgeräte	141
5.4	Life Cycle Assessment	146
5.5	Fallbeispiel: Umweltwirkungen komplexer Elektronikgeräte	149
5.6	Fazit	154

6 Produktion	157
6.1 Planung von Produktionssystemen	157
6.2 Modellierung von Produktionssystemen am Beispiel synthetischer Biokraftstoffe	164
6.3 Fallbeispiel: Planung eines Produktionssystems zur Herstellung von BTL-Kraftstoffen	182
6.4 Fazit	186
7 Nutzung	189
7.1 Nutzungsdauerverlängerung durch Aufarbeitung	189
7.2 Planung der Aufarbeitung	195
7.3 Integrierte Planung von Neuproduktion und Aufarbeitung	196
7.4 Fallbeispiel: Kreislaufoptionen eines Automatenherstellers	204
7.5 Fazit	209
8 Entsorgung	211
8.1 Begriffe und Grundlagen	211
8.2 Charakterisierung von Behandlungsprozessen	215
8.3 Modellierung von Behandlungsprozessen	218
8.4 Modellierung integrierter Recyclingunternehmen	227
8.5 Fallbeispiel: Feinplanung eines integrierten Recyclingunternehmens	231
8.6 Fazit	236
9 Koordination nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	239
9.1 Anforderungen an die Koordination nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	239
9.2 Koordination in Netzwerken	242
9.3 Fallbeispiel: Koordination von Recyclingnetzwerken	250
9.4 Fazit	263
10 Schlussfolgerungen	265
11 Zusammenfassung	273
12 Literatur	277

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage und Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung und Lösungsweg	4
2	Charakteristika und Aufgaben nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	9
2.1	Grundlagen und Rahmenbedingungen eines nachhaltigen Wirtschaftens.....	10
2.1.1	Konzept Nachhaltigkeit	10
2.1.2	Lenkungssystem (Umwelt-)Politik	11
2.1.2.1	<i>Abfall- und schadstofforientierte Richtlinien</i>	14
2.1.2.2	<i>Medienübergreifender Umweltschutz</i>	14
2.1.2.3	<i>Freiwillige Instrumente</i>	15
2.1.2.4	<i>Integrierte Produktpolitik</i>	16
2.1.3	Stoffstrommanagement zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung	17
2.2	Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke	20
2.2.1	Wertschöpfungsnetzwerke.....	20
2.2.2	Charakteristika nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke.....	22
2.2.3	Planung nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	24
2.2.3.1	<i>Planungsrahmen</i>	25
2.2.3.2	<i>Planungsaufgaben entlang des Produktlebenszyklus</i>	26
2.3	Fallbeispiel: Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke in der Elektronikindustrie	28
2.3.1	Umweltwirkungen von Elektro(nik)geräten	28
2.3.2	Umweltrechtliche Rahmenbedingungen.....	29
2.3.3	Stoffstrommanagement entlang des Produktlebenszyklus.....	32
2.3.4	Zusammenarbeit in Wertschöpfungsnetzwerken.....	33
2.4	Fazit	37
3	Stoffstrombasierte Modellierung und Bewertung nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	41
3.1	Modellierung vernetzter Produktionssysteme	41
3.1.1	Ermittlung der Input-Output-Relationen.....	43
3.1.1.1	<i>Betriebswirtschaftliche Produktionsfunktionen</i>	43
3.1.1.2	<i>Aktivitätsanalyse</i>	44
3.1.1.3	<i>Approximation einer Technik durch Prozesssimulation</i>	45

3.1.2 Ansätze zur dynamischen Modellierung.....	47
3.1.2.1 <i>Dynamisches Grundmodell</i>	47
3.1.2.2 <i>Dynamische Input-Output-Grafen und Petri-Netze</i>	48
3.2 Bewertung nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke	50
3.2.1 Ziele und Zielhierarchien.....	50
3.2.2 Ökonomische Bewertung.....	52
3.2.2.1 <i>Verfahren der Umweltkostenrechnung</i>	53
3.2.2.2 <i>Ansatz der stoffflussbasierten Umweltkostenrechnung</i>	55
3.2.3 Ökologische Bewertung.....	59
3.2.3.1 <i>Kumulierter Primärenergieaufwand – KEA</i>	59
3.2.3.2 <i>Bewertungsverfahren nach UBA</i>	60
3.2.4 Soziale Bewertung	63
3.3 Multikriterielle Bewertung zur Integration der Nachhaltigkeitsindikatoren	64
3.3.1 Indikatorensysteme zur Bewertung der Nachhaltigkeit.....	64
3.3.2 Klassifikation multikriterieller Entscheidungsverfahren	66
3.3.3 Multi Objective Decision Making	67
3.3.3.1 <i>MODM-Verfahren</i>	67
3.3.3.2 <i>Bestimmung aller effizienten Lösungen</i>	69
3.3.3.3 <i>Zielprogrammierung</i>	71
3.3.4 Multi Attribute Decision Making.....	72
3.3.4.1 <i>MADM-Verfahren</i>	73
3.3.4.2 <i>Outrankingverfahren PROMETHEE</i>	75
3.4 Fallbeispiel: Modellierung und Bewertung von Recyclingnetzwerken.....	77
3.4.1 Stoffstrommodell des Recyclingnetzwerks.....	78
3.4.2 Stoffflussbasierte Umweltkostenrechnung zur Bewertung von Recyclingnetzwerken.....	79
3.4.3 MODM-Verfahren zur Bewertung von Recyclingnetzwerken.....	81
3.4.3.1 <i>Zielfunktionen</i>	81
3.4.3.2 <i>Effiziente Lösungen</i>	83
3.4.3.3 <i>Zielprogrammierung</i>	85
3.4.4 MADM-Verfahren zur Bewertung von Recyclingnetzwerken.....	87
3.4.4.1 <i>Zielsystem und Attribute</i>	88
3.4.4.2 <i>Anwendung von PROMETHEE</i>	89
3.5 Fazit	91
4 Lenkungssystem (Umwelt-)Politik.....	93
4.1 Folgenabschätzung für Politikoptionen	93

4.1.1	Vorgehen im Rahmen der Folgenabschätzung	94
4.1.2	Anforderungen an die Wirkungsanalyse.....	97
4.2	Dynamisch komplexe Systeme.....	98
4.2.1	Verhaltensmuster dynamisch komplexer Systeme	98
4.2.2	Systemdynamische Modellierung dynamisch komplexer Systeme	100
4.2.2.1	<i>Problemddefinition</i>	100
4.2.2.2	<i>Erstellung einer dynamischen Hypothese</i>	101
4.2.2.3	<i>Formulierung eines Simulationsmodells</i>	102
4.2.2.4	<i>Modellanalyse</i>	105
4.2.2.5	<i>Entwicklung und Bewertung von Politikoptionen</i>	106
4.3	Fallbeispiel: Folgenabschätzung im Automobilsektor	107
4.3.1	Planungsproblem.....	107
4.3.2	Modell.....	109
4.3.3	Daten und Szenarien	120
4.3.4	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen.....	122
4.4	Fazit	127
5	Produktentwicklung.....	129
5.1	Produktlebenszyklus	129
5.1.1	Bedeutung der Produktentwicklung.....	129
5.1.2	Modellierung des Produktlebenszyklus	131
5.2	Life Cycle Costing.....	135
5.2.1	Mengengerüst.....	135
5.2.2	Wertgerüst.....	138
5.2.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	139
5.3	Fallbeispiel: Lebenszykluskosten komplexer Elektronikgeräte	141
5.3.1	Entscheidungsalternativen	141
5.3.2	Stoffströme	142
5.3.3	Zahlungsströme.....	143
5.3.4	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen.....	143
5.4	Life Cycle Assessment	146
5.4.1	Vorgehensweise	146
5.4.2	Vereinfachtes Life Cycle Assessment	148
5.5	Fallbeispiel: Umweltwirkungen komplexer Elektronikgeräte.....	149
5.5.1	Life Cycle Assessment eines Personal Computers	149
5.5.2	Lebenszyklusweite Umweltwirkungen weiterer Elektronikgeräte	152
5.6	Fazit	154

6	Produktion	157
6.1	Planung von Produktionssystemen	157
6.1.1	Techno-ökonomisches Planungskonzept	158
6.1.2	Strategische Produktionsplanung	159
6.1.2.1	<i>Betriebswirtschaftliche Systemgestaltung</i>	161
6.1.2.2	<i>Schnittstelle zur technischen Systemgestaltung</i>	162
6.1.3	Berücksichtigung von Unsicherheiten	162
6.2	Modellierung von Produktionssystemen am Beispiel synthetischer Biokraftstoffe	164
6.2.1	Synthetische Biokraftstoffe als Technologieinnovation	164
6.2.2	Charakterisierung des Produktionssystems	166
6.2.3	Informationen aus der technischen Systemgestaltung	167
6.2.4	Integrierte Standort-, Kapazitäts- und Technologieplanung	171
6.2.4.1	<i>Systembeschreibung</i>	171
6.2.4.2	<i>Stoffströme</i>	173
6.2.4.3	<i>Zielfunktion</i>	175
6.2.4.4	<i>Robuste Erweiterung</i>	178
6.3	Fallbeispiel: Planung eines Produktionssystems zur Herstellung von BTL-Kraftstoffen	182
6.3.1	Daten	182
6.3.2	Szenarien	183
6.3.3	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen	183
6.4	Fazit	186
7	Nutzung	189
7.1	Nutzungsdauerverlängerung durch Aufarbeitung	189
7.1.1	Aufarbeitungsoptionen	190
7.1.2	Integration in den Produktlebenszyklus	191
7.1.3	Umsetzung in Closed Loop Supply Chains	192
7.2	Planung der Aufarbeitung	195
7.2.1	Strategische Planung	195
7.2.2	Taktische Planung	195
7.2.3	Operative Planung	196
7.3	Integrierte Planung von Neuproduktion und Aufarbeitung	196
7.3.1	Planungssituation	197
7.3.2	Modell zur integrierten Produktions- und Aufarbeitungsplanung	199
7.4	Fallbeispiel: Kreislaufoptionen eines Automatenherstellers	204

7.4.1	Planungsumfeld und -aufgabe.....	204
7.4.2	Aufarbeitungsoptionen des Automatenherstellers	206
7.4.3	Ergebnisse und Handlungsempfehlungen.....	208
7.5	Fazit	209
8	Entsorgung.....	211
8.1	Begriffe und Grundlagen	211
8.1.1	Systemstufen und Aktivitäten.....	212
8.1.2	Akteure.....	214
8.2	Charakterisierung von Behandlungsprozessen	215
8.2.1	Charakteristika der Demontage und mechanischen Aufbereitung.....	215
8.2.2	Demontage und Aufbereitung als Kuppelproduktionsprozesse.....	217
8.3	Modellierung von Behandlungsprozessen	218
8.3.1	Modellierung der Demontage	219
8.3.2	Modellierung der mechanischen Aufbereitung.....	223
8.4	Modellierung integrierter Recyclingunternehmen.....	227
8.4.1	Allgemeines Stoffstrommodell	227
8.4.2	Hierarchisches Planungskonzept für integrierte Recyclingunternehmen ..	230
8.5	Fallbeispiel: Feinplanung eines integrierten Recyclingunternehmens	231
8.5.1	Daten	232
8.5.2	Ergebnisse	234
8.6	Fazit	236
9	Koordination nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke.....	239
9.1	Anforderungen an die Koordination nachhaltiger Wertschöpfungsnetzwerke.....	239
9.1.1	Kooperationen entlang des Produktlebenszyklus	239
9.1.2	Anforderungen an die Koordination	241
9.2	Koordination in Netzwerken.....	242
9.2.1	Überbetrieblicher Leistungsaustausch	242
9.2.2	Koordination in Wertschöpfungsnetzwerken	244
9.2.3	Koordinationsmechanismen.....	246
9.2.3.1	<i>Koordination durch Kontrakte</i>	<i>247</i>
9.2.3.2	<i>Koordination von mathematischen Optimierungsmodellen</i>	<i>248</i>
9.3	Fallbeispiel: Koordination von Recyclingnetzwerken.....	250
9.3.1	Charakterisierung der Koordinationssituation	251
9.3.1.1	<i>Aktivitäten und Stoffströme</i>	<i>251</i>
9.3.1.2	<i>Akteure, Zielsetzungen und Informationen.....</i>	<i>252</i>

9.3.1.3 <i>Weitere Präzisierung der Koordinationssituation</i>	253
9.3.2 <i>Koordinationsansatz</i>	254
9.3.2.1 <i>Zentrales Modell</i>	254
9.3.2.2 <i>Dezentrales Modell</i>	254
9.3.2.3 <i>Koordinationsmechanismus</i>	256
9.3.2.4 <i>Prototypische Umsetzung als Multi-Agentensystem</i>	258
9.3.3 <i>Ergebnisse</i>	259
9.4 <i>Fazit</i>	263
10 <i>Schlussfolgerungen</i>	265
11 <i>Zusammenfassung</i>	273
12 <i>Literatur</i>	277