

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | XV |
| Tabellenverzeichnis..... | XVI |
| Abkürzungsverzeichnis | XVII |
| Symbolverzeichnis | XIX |
| | |
| 1 Einleitung | 1 |
| | |
| <i>Teil I Betriebswirtschaftliche Einordnung.....</i> | <i>5</i> |
| | |
| 2 Stoffstrommanagement als Teil der Unternehmensführung..... | 7 |
| 2.1 Umweltorientierte Unternehmensführung..... | 7 |
| 2.2 Betriebliches Stoffstrommanagement | 10 |
| | |
| 3 Bedeutung des Öko-Controllings für das Stoffstrommanagement | 15 |
| 3.1 Öko-Controlling | 15 |
| 3.2 Eignung von Öko-Controlling-Instrumenten für das Stoffstrommanagement | 18 |
| 3.3 Anforderungen des Öko-Controllings an die Beschreibung und Bewertung von Stoffstromsystemen | 24 |
| | |
| <i>Teil II Darstellung und Kritik des State of the Art.....</i> | <i>27</i> |
| | |
| 4 Beschreibung von Stoffströmen und Stoffstromsystemen..... | 29 |
| 4.1 Stoff- und Energiebilanzen..... | 29 |
| 4.1.1 Beispiele von Stoff- und Energiebilanzen | 29 |
| 4.1.1.1 Betriebsbilanz..... | 29 |
| 4.1.1.2 Prozeßbilanz..... | 31 |
| 4.1.1.3 Produktbilanz | 32 |
| 4.1.2 Weitere Einsatzbereiche betrieblicher Stoff- und Energiebilanzen | 33 |
| 4.2 Fließbilder | 33 |
| 4.3 Petri-Netze und die Öko-Bilanzierungssoftware Umberto® | 35 |
| 4.4 Kritische Würdigung | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 5 Erfassung ökologischer Wirkungen von Stoffströmen | 41 |
| 5.1 Problematik der Wirkungsanalyse..... | 41 |
| 5.2 Ökologieorientierte Kennzahlen(systeme)..... | 46 |
| 5.3 Kritische Würdigung | 49 |
| 6 Bewertung von Stoffströmen | 51 |
| 6.1 Gegenstand und Begriff der Öko-Bilanzierung..... | 51 |
| 6.2 Produktbezogene Öko-Bilanzierung (LCA) nach ISO 14040ff. | 54 |
| 6.2.1 Goal and Scope Definition: „Zielfestlegung und Untersuchungsrahmen“ | 55 |
| 6.2.2 Life Cycle Inventory Analysis: „Sachbilanzierung“ | 56 |
| 6.2.3 Life Cycle Impact Assessment: „Wirkungsabschätzung“ | 57 |
| 6.2.4 Life Cycle Interpretation: „Auswertung“ | 57 |
| 6.2.5 Reporting and Critical Review: „Berichterstattung“ und „Prüfung“ | 57 |
| 6.2.6 Stand der Normierung | 59 |
| 6.2.7 Weitere Einsatzbereiche von Öko-Bilanzen..... | 59 |
| 6.3 Bewertungsmethoden in Öko-Bilanzen..... | 60 |
| 6.3.1 Methode der ökologischen Knappheit..... | 61 |
| 6.3.2 Methode der kritischen Volumina | 62 |
| 6.3.3 Material-Intensität Pro Serviceeinheit | 63 |
| 6.3.4 Auswirkungsorientierte Klassifizierung | 63 |
| 6.3.5 Methode des deutschen Umweltbundesamts..... | 64 |
| 6.3.6 ABC-Methode | 65 |
| 6.3.7 Monetarisierende Methoden | 65 |
| 6.3.8 Kritische Würdigung der Bewertungsmethoden..... | 69 |
| 6.4 Kritische Würdigung | 70 |
| Teil III Theoretische Fundierung | 73 |
| 7 Stoffstrommanagement in entscheidungs- und produktionstheoretischer Sicht | 75 |
| 7.1 Der Vergleich zwischen alternativen „Umweltlösungen“ als Entscheidungsproblem.... | 75 |
| 7.1.1 Untersuchungsziel und konkrete Situation als problemkonstituierende Faktoren | 76 |
| 7.1.2 Darstellung anhand des Grundmodells der Entscheidungstheorie | 76 |

| | |
|--|------------|
| 7.1.3 Generierung und Beschreibung von Zielen, Alternativen, Zukunfts- und Umfeldzuständen und ihrer Konsequenzen | 79 |
| 7.1.4 Kennzahlensysteme als Lösungsansatz | 82 |
| 7.1.5 Prämissen und Konzept der weiteren entscheidungstheoretischen Analyse..... | 82 |
| 7.2 Die Beschreibung und Beurteilung alternativer „Umweltlösungen“ mittels Stoff- und Energiebilanzen als Ergebnisse von Produktionsprozessen | 83 |
| 7.2.1 Problematik der Systemabgrenzung | 84 |
| 7.2.2 Eignung produktionstheoretischer Ansätze | 86 |
| 7.2.3 Kennzeichnung eines geeigneten Ansatzes | 90 |
| 7.2.4 Prämissen und Konzept der weiteren produktionstheoretischen Analyse | 92 |
| 7.3 Untersuchte Fragestellungen und Aufbau der weiteren (integrierten) theoretischen Analyse | 93 |
| 8 Technologische Beschreibung von Stoffstromsystemen | 95 |
| 8.1 Systembeziehungen: Innen- und Außenverflechtungen | 95 |
| 8.2 Systemelemente: Relevante Objekte und ihre Eigenschaften | 97 |
| 8.2.1 Naturwissenschaftliche Klassifikationen | 100 |
| 8.2.2 Produktionswirtschaftliche Klassifikationen | 101 |
| 8.3 Allgemeine Bilanzgleichung eines einzelnen Stoffstroms | 105 |
| 8.3.1 Bilanzgleichung in Brutto-Version | 106 |
| 8.3.2 Bilanzgleichung in Netto-Version | 110 |
| 8.4 Input/Output-Tabellen | 112 |
| 8.4.1 Typen tabellarischer Darstellung | 113 |
| 8.4.2 Anwendungen in der Praxis | 116 |
| 8.4.3 Gliederung und Detaillierungstiefe | 118 |
| 8.5 Input/Output-Graphen | 120 |
| 8.6 Grenzen der Darstellungsformen (für einzelne Aktivitäten) | 124 |
| 8.7 Techniken (als Mengen möglicher Aktivitäten) | 125 |
| 8.7.1 Klassifikation verschiedener Techniken | 125 |
| 8.7.2 Einfluß der Technik auf Konsolidierung und Systemzerlegung | 135 |
| 9 Beurteilung von Stoffstromsystemen | 139 |
| 9.1 Beurteilung einzelner Stoffarten und -mengen | 139 |
| 9.1.1 Notwendigkeit | 139 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9.1.2 | Einflußfaktoren | 140 |
| 9.1.3 | Ökologieorientierte Beurteilung | 141 |
| 9.1.4 | Grenzen der isolierten Beurteilung von Stoffen | 148 |
| 9.2 | Stoffstrombezogene Kennzahlen..... | 149 |
| 9.3 | Ökologieorientierte Kennzahlen..... | 150 |
| 9.3.1 | Aufbau eines ökologieorientierten Kennzahlensystems | 150 |
| 9.3.2 | Kritische Würdigung..... | 153 |
| 10 | Problematik der Kuppelproduktion und der Restriktionen..... | 155 |
| 10.1 | Rolle der Kuppelproduktion im Stoffstrommanagement | 155 |
| 10.1.1 | Der Kuppelproduktionsbegriff..... | 155 |
| 10.1.2 | Starre Kuppelproduktion | 158 |
| 10.1.3 | Flexible Kuppelproduktion..... | 159 |
| 10.2 | Relevanz von Restriktionen im Stoffstrommanagement | 164 |
| 10.2.1 | Kuppelproduktion und Grenzwerte | 164 |
| 10.2.2 | Ressourcennutzungsgrenzwerte..... | 167 |
| 10.3 | Kritische Würdigung: Führung von Kuppelproduktionssystemen durch Kennzahlen | 168 |
| 11 | Problematik von Spitzenkennzahlen sowie Ziel- und Kennzahlensystemen..... | 173 |
| 11.1 | Spitzenkennzahlen..... | 173 |
| 11.1.1 | Aggregation | 173 |
| 11.1.2 | Ableitung eines Öko-Indexes..... | 175 |
| 11.1.2.1 | Bezugsrahmen | 175 |
| 11.1.2.2 | Plausible Eigenschaften..... | 176 |
| 11.1.2.3 | Theorem..... | 177 |
| 11.1.2.4 | Kritische Würdigung | 179 |
| 11.2 | Ziel- und Kennzahlensysteme | 180 |
| 11.2.1 | Abgrenzung von Zielen und Kennzahlen | 180 |
| 11.2.2 | Top down- versus Bottom up-Vorgehensweise zur Bildung von Zielsystemen | 181 |
| 11.2.3 | Entwicklung eines hierarchischen Kennzahlensystems..... | 182 |
| 11.2.4 | Kritische Würdigung | 184 |

| | |
|---|------------|
| 12 Entscheidungsunterstützung für das Stoffstrommanagement | 187 |
| 12.1 Rationalität einer Entscheidung..... | 187 |
| 12.2 Schwaches ökologieorientiertes Erfolgsprinzip | 188 |
| 12.2.1 Ökologieorientierte Dominanzanalyse | 188 |
| 12.2.2 Kritische Würdigung..... | 193 |
| 12.3 Starkes ökologieorientiertes Erfolgsprinzip | 194 |
| 12.3.1 Charakterisierung und Auswahl der Verfahren | 194 |
| 12.3.2 Die multiattributive Werttheorie (MAVT) | 196 |
| 12.3.2.1 Das additive Modell..... | 197 |
| 12.3.2.2 Das multiplikative Modell..... | 199 |
| 12.3.2.3 Kritische Würdigung | 200 |
| 12.4 „Mittlere“ ökologieorientierte Erfolgsprinzipien | 204 |
| 12.4.1 Outrankingverfahren..... | 204 |
| 12.4.2 PROMETHEE..... | 206 |
| 12.4.3 Kritische Würdigung..... | 208 |
| 12.5 Kritische Würdigung | 211 |
| | |
| 13 Resümee und Ausblick..... | 213 |
| 13.1 Zusammenfassung wesentlicher Erkenntnisse | 213 |
| 13.2 Ausblick..... | 216 |
| | |
| Anhang | 219 |
| Literaturverzeichnis..... | 221 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------------|--|-----|
| Abb. 1.1: | Aufbau und Gang der Untersuchung..... | 2 |
| Abb. 3.1: | Produktbezogenes Ökologieportfolio nach Schaltegger/Sturm | 22 |
| Abb. 4.1: | Prozeßbilanz ‚Verarbeitung‘ | 32 |
| Abb. 4.2: | Grundfließbild der Ethylenglykolherstellung..... | 34 |
| Abb. 4.3: | Sankey-Diagramm für die Energiebilanz eines Rostfeuerungs-systems..... | 35 |
| Abb. 4.4: | Elemente eines Stoffstromsystems..... | 37 |
| Abb. 4.5: | Schematisches Petri-Netz der Ethylenglykolherstellung | 37 |
| Abb. 5.1: | Wirkungszusammenhang betrieblicher Wertschöpfung und Umweltschädigung | 42 |
| Abb. 6.1: | Phasenschritte der Öko-Bilanzierung nach ISO 14040..... | 54 |
| Abb. 6.2: | Schema der Umwelt-Budget-Rechnung..... | 69 |
| Abb. 7.1: | Elemente des Entscheidungsproblems | 81 |
| Abb. 8.1: | Transformation als Input/Output-Prozeß | 96 |
| Abb. 8.2: | I/O-Graph mit gesamthafter Betrachtung des Primärintput und -output in Brutto-Version..... | 121 |
| Abb. 8.3: | I/O-Graph mit gesamthafter Betrachtung des Primärintput und -output in Netto-Version | 121 |
| Abb. 8.4: | I/O-Graph mit separater Betrachtung der physischen und zeitlichen Zu- und Abgänge in Brutto-Version | 122 |
| Abb. 8.5: | I/O-Graph mit separater Betrachtung der physischen Zu- und Abgänge in Brutto-Version und der zeitlichen Zu- und Abgänge in Netto-Version..... | 123 |
| Abb. 8.6: | I/O-Graph eines Stoffstromsystems | 126 |
| Abb. 8.7: | Abstrakter I/O-Graph einer elementaren Technik..... | 128 |
| Abb. 8.8: | Abstrakter I/O-Graph einer einstufigen Technik | 129 |
| Abb. 8.9: | Abstrakter I/O-Graphen parametrisch definierter Techniken | 130 |
| Abb. 8.10: | Beispiel eines I/O-Graphen einer mehrstufigen Technik..... | 132 |
| Abb. 8.11: | I/O-Graph einer zyklischen Technik mit Variation der Recyclingquote | 134 |
| Abb. 10.1: | Variabilität der Kuppelproduktion | 158 |
| Abb. 10.2: | Durch Einsatzstoffe bzw. durch Hauptprodukte bestimmte Kuppelproduktion . | 161 |
| Abb. 10.3: | Grenzwerte für ρ bei linearem und parabelförmigen Verlauf von $b_{3,2}(\rho)$ | 166 |
| Abb. 11.1: | Beispiel eines Top down entwickelten ökologieorientierten Zielsystems | 182 |
| Abb. 11.2: | Beispiel eines Bottom up entwickelten hierarchischen Kennzahlensystems..... | 184 |
| Abb. 12.1: | Ökologieorientierte Wirkungsanalyse von Getränkeverpackungen..... | 192 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|---|-----|
| Tab. 3.1: | Ausgewählte Instrumente des Öko-Controllings | 19 |
| Tab. 4.1: | Betriebsbilanz 1994/95 der Voith GmbH, Heidenheim | 30 |
| Tab. 4.2: | Stichtagsbezogene Bestandsbeschreibung der Voith GmbH, Heidenheim..... | 31 |
| Tab. 5.1: | Ökologische Wirkungskategorien | 43 |
| Tab. 5.2: | Relative Treibhauspotentiale (GWP _e) der wichtigsten (direkt wirkenden) Treibhausgase auf Massensbasis, bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren nach IPCC | 45 |
| Tab. 6.1: | Übersicht über die Phasen der Öko-Bilanzierung | 53 |
| Tab. 7.1: | Ergebnismatrix | 78 |
| Tab. 7.2: | Ergebnismatrix für alternative Getränkeverpackungen | 78 |
| Tab. 8.1: | Eigenschaften beachteter materieller Bilanzobjekte | 99 |
| Tab. 8.2: | Konto einer I/O-Tabelle gemäß der allgemeinen Bilanzgleichung in Brutto- Version | 113 |
| Tab. 8.3: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs g/B | 115 |
| Tab. 8.4: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs g/N | 115 |
| Tab. 8.5: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/B/B | 115 |
| Tab. 8.6: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/B/N | 115 |
| Tab. 8.7: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/B/- | 115 |
| Tab. 8.8: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/N/B | 115 |
| Tab. 8.9: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/N/N | 116 |
| Tab. 8.10: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/N/- | 116 |
| Tab. 8.11: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/-/B | 116 |
| Tab. 8.12: | Konto einer I/O-Tabelle des Typs s/-/N | 116 |
| Tab. 8.13: | Einfaches Beispiel eines gegliederten Kontenrahmens..... | 119 |
| Tab. 9.1: | Ergebniskategorien..... | 144 |
| Tab. 9.2: | Ökologisch beurteilte Stoff- und Energiebilanz eines Müllheizkraftwerks | 146 |
| Tab. 9.3: | Ökologische Aufwand/Ertrags-Bilanz eines Müllheizkraftwerks | 146 |
| Tab. 9.4: | Ökologieorientierte Kennzahlen | 152 |