

## Inhaltsverzeichnis

**Vorwort** XI

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Was ist eine Ökobilanz?	1
1.1.1	Definition und Abgrenzung	1
1.1.2	Der Lebensweg eines Produkts	2
1.1.3	Die funktionelle Einheit	3
1.1.4	Die Ökobilanz als Systemanalyse	4
1.1.5	Ökobilanz (LCA) und betriebliche Umweltbilanz	5
1.2	Historisches	7
1.2.1	Frühe Ökobilanzen	7
1.2.2	Umweltpolitischer Hintergrund	8
1.2.3	Energieanalyse	8
1.2.4	Die 1980er Jahre	9
1.2.5	Die Rolle der SETAC	9
1.3	Die Struktur der Ökobilanz	10
1.3.1	Die Struktur nach SETAC	10
1.3.2	Die Struktur der Ökobilanz nach ISO	12
1.3.3	Bewertung – eine eigene Komponente?	14
1.4	Normung der Ökobilanztechnik	15
1.4.1	Entstehungsprozess	15
1.4.2	Status Quo	17
1.5	Literatur und Information zur Ökobilanz	18
1.6	Literatur zu Kapitel 1	19
<b>2</b>	<b>Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens</b>	<b>27</b>
2.1	Zieldefinition	27
2.2	Untersuchungsrahmen	28
2.2.1	Das Produktsystem	28
2.2.2	Technische Systemgrenzen	30
2.2.2.1	Abschneideregeln	30
2.2.2.2	Die Abgrenzung zur Systemumgebung	32
2.2.3	Geographische Systemgrenze	35

*Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf.* Walter Klöpffer und Birgit Grahl  
Copyright © 2009 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim  
ISBN: 978-3-527-32043-1

## VI | Inhaltsverzeichnis

- 2.2.4 Zeitliche Systemgrenze/Zeithorizont 36
- 2.2.5 Die funktionelle Einheit 37
  - 2.2.5.1 Festlegung von geeigneter funktioneller Einheit und Referenzfluss 37
  - 2.2.5.2 Vergleichsbeeinträchtigende Faktoren – vernachlässigbarer Zusatznutzen 42
  - 2.2.5.3 Vorgehen bei nicht zu vernachlässigendem Zusatznutzen 43
- 2.2.6 Datenverfügbarkeit und Tiefe der Studie 45
- 2.2.7 Weitere Festlegungen 46
  - 2.2.7.1 Art der Wirkungsabschätzung 46
  - 2.2.7.2 Bewertung (Gewichtung), Annahmen und Werthaltungen 47
  - 2.2.7.3 Kritische Prüfung (*Critical Review*) 48
- 2.2.8 Weitere Festlegungen zum Untersuchungsrahmen 49
- 2.3 Illustration der Komponente „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“ am Praxisbeispiel 49
  - 2.3.1 Zieldefinition 50
  - 2.3.2 Untersuchungsrahmen 52
- 2.4 Literatur zu Kapitel 2 59
  
- 3 Sachbilanz 63**
  - 3.1 Grundbegriffe 63
    - 3.1.1 Naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten 63
    - 3.1.2 Literatur zu den Grundbegriffen der Sachbilanz 65
    - 3.1.3 Das Prozessmodul als kleinste Einheit der Bilanzierung 65
      - 3.1.3.1 Einbindung in das Systemfließbild 65
      - 3.1.3.2 Bilanzierung 67
    - 3.1.4 Fließdiagramme 69
    - 3.1.5 Bezugsgrößen 73
  - 3.2 Energieanalyse 74
    - 3.2.1 Einführung 74
    - 3.2.2 Der kumulierte Energieaufwand (KEA) 78
      - 3.2.2.1 Definition 78
      - 3.2.2.2 Teilbeträge 78
      - 3.2.2.3 Bilanzgrenzen 80
    - 3.2.3 Der Energieinhalt brennbarer Stoffe 82
      - 3.2.3.1 Fossile Brennstoffe 82
      - 3.2.3.2 Quantifizierung 82
      - 3.2.3.3 Infrastruktur 85
    - 3.2.4 Bereitstellung elektrischer Energie 86
    - 3.2.5 Transporte 90
  - 3.3 Allokation 94
    - 3.3.1 Grundsätzliches zur Allokation 94
    - 3.3.2 Allokation am Beispiel der Koppelproduktion 95
      - 3.3.2.1 Definition der Koppelproduktion 95
      - 3.3.2.2 „Gerechte“ Allokation? 96

3.3.2.3	Lösungsvorschläge	101
3.3.2.4	Weitere Ansätze zur Allokation von Koppelprodukten	105
3.3.2.5	Systemerweiterung	106
3.3.3	Allokation und Recycling im geschlossenen Kreislauf	109
3.3.4	Allokation und Recycling im offenen Kreislauf	111
3.3.4.1	Definition des Problems	111
3.3.4.2	Die Aufteilung zu gleichen Teilen	113
3.3.4.3	Die <i>cut-off rule</i>	116
3.3.4.4	Alle Belastung für System B	117
3.3.5	Allokation bei Abfall-Ökobilanzen	118
3.3.5.1	Modellierung der Abfallentsorgung eines Produktes	119
3.3.5.2	Vergleich unterschiedlicher Abfallentsorgungsoptionen	121
3.3.6	Resümee über Allokation	123
3.4	Datenerfassung, Datenherkunft und Datenqualität	124
3.4.1	Verfeinerung des Systemfließbildes und Vorbereitung der Datenerhebung	124
3.4.2	Erhebung von spezifischen Daten	125
3.4.3	Generische Daten und Teilsachbilanzen	133
3.4.3.1	Was sind „generische Daten“?	133
3.4.3.2	Berichte, Publikationen, Webseiten	136
3.4.3.3	Kostenpflichtige Datenbanken und Softwaresysteme	137
3.4.4	Abschätzungen	139
3.4.5	Datenqualität und -dokumentation	139
3.5	Datenaggregation und Einheiten	141
3.6	Präsentation der Sachbilanz-Ergebnisse	143
3.7	Illustration der Komponente Sachbilanz am Praxisbeispiel	144
3.7.1	Differenzierte Beschreibung der untersuchten Produktsysteme	145
3.7.1.1	Materialien im Produktsystem	145
3.7.1.2	Massenströme des Produktes nach der Gebrauchsphase	148
3.7.1.3	Verbleib der Sortierreste und der Mischkunststofffraktion	151
3.7.1.4	Verwertung der Transportverpackungen	151
3.7.2	Analyse der Herstellungsverfahren, Verwertungsverfahren und sonstiger im Produktsystem relevanter Prozesse	151
3.7.2.1	Herstellungsverfahren für die Materialien	151
3.7.2.2	Produktherstellung aus Materialien	155
3.7.2.3	Distribution	157
3.7.2.4	Sammlung und Sortierung der gebrauchten Verpackungen	157
3.7.2.5	Verwertungsverfahren	158
3.7.2.6	Verwertung von Transportverpackungen	161
3.7.2.7	LKW-Transporte	161
3.7.2.8	Strombereitstellung	161
3.7.3	Ausarbeitung eines differenzierten Systemfließbilds mit Referenzflüssen	162
3.7.4	Allokation	166
3.7.4.1	Festlegung der Allokationsregeln auf Prozessebene	166

VIII | *Inhaltsverzeichnis*

- 3.7.4.2 Festlegung der Allokationsregeln auf Systemebene für open-loop Recycling 167
- 3.7.5 Modellierung des Systems 167
- 3.7.6 Berechnung der Sachbilanz 167
  - 3.7.6.1 Input 168
  - 3.7.6.2 Output 172
- 3.8 Literatur zu Kapitel 3 183
  
- 4 Wirkungsabschätzung 195**
  - 4.1 Grundprinzip der Wirkungsabschätzung 195
  - 4.2 Methode der kritischen Volumina 198
    - 4.2.1 Interpretation 199
    - 4.2.2 Kritik 200
  - 4.3 Die Struktur der Wirkungsabschätzung nach ISO 14040 und 14044 201
    - 4.3.1 Verbindliche und optionale Bestandteile 201
    - 4.3.2 Verbindliche Bestandteile 202
      - 4.3.2.1 Auswahl von Wirkungskategorien, -indikatoren und Charakterisierungsfaktoren 202
        - 4.3.2.2 Klassifizierung 205
        - 4.3.2.3 Charakterisierung 206
      - 4.3.3 Optionale Bestandteile 207
        - 4.3.3.1 Normierung 207
        - 4.3.3.2 Ordnung 212
        - 4.3.3.3 Gewichtung 215
        - 4.3.3.4 Zusätzliche Analyse der Datenqualität 217
    - 4.4 Methode der Wirkungskategorien (Umweltproblemfelder) 217
      - 4.4.1 Einführung 217
      - 4.4.2 Erste („historische“) Listen der Umweltproblemfelder 218
      - 4.4.3 Stressor-Wirkungsbeziehungen und Indikatoren 223
        - 4.4.3.1 Hierarchie der Effekte 223
        - 4.4.3.2 Potentielle versus tatsächliche Effekte 226
    - 4.5 Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsfaktoren 229
      - 4.5.1 Input-bezogene Wirkungskategorien 229
        - 4.5.1.1 Übersicht 229
        - 4.5.1.2 Verbrauch abiotischer Ressourcen 231
        - 4.5.1.3 Kumulierter Energie- und Exergieaufwand 239
        - 4.5.1.4 Verbrauch biotischer Ressourcen 242
        - 4.5.1.5 Nutzung von (Süß-)Wasser 244
        - 4.5.1.6 Naturraumbeanspruchung 245
      - 4.5.2 Output-bezogene Wirkungskategorien 1 (globale und regionale Wirkungen) 251
        - 4.5.2.1 Übersicht 251
        - 4.5.2.2 Klimaänderung 252

4.5.2.3	Stratosphärischer Ozonabbau	257
4.5.2.4	Bildung von Photooxidantien (Sommersmog)	263
4.5.2.5	Versauerung	273
4.5.2.6	Eutrophierung	281
4.5.3	Toxizitätsbezogene Wirkungskategorien	289
4.5.3.1	Einleitung	289
4.5.3.2	Humantoxizität	290
4.5.3.2.1	Problemstellung	290
4.5.3.2.2	Einfache Gewichtung durch Grenz- bzw. Richtwerte aus dem Arbeitsschutz	291
4.5.3.2.3	Charakterisierung mit zusätzlicher Expositionsabschätzung	295
4.5.3.2.4	Vereinheitlichtes LCIA-Toxizitäts-Modell	299
4.5.3.3	Ökotoxizität	302
4.5.3.3.1	Schutzobjekte	302
4.5.3.3.2	Chemikalien und Umwelt	303
4.5.3.3.3	Einfache Quantifizierung der Ökotoxizität ohne Expositionsbezug	305
4.5.3.3.4	Einbeziehung von Persistenz und Verteilung in die Quantifizierung	306
4.5.3.4	Schlussbemerkung zu den Toxizitäts-Kategorien	308
4.5.4	Belästigungen durch chemische und physikalische Emissionen	309
4.5.4.1	Einführung	309
4.5.4.2	Geruch	310
4.5.4.3	Lärm	310
4.5.5	Unfälle und Radioaktivität	312
4.5.5.1	Unfälle	312
4.5.5.2	Radioaktivität	313
4.6	Illustration der Komponente Wirkungsabschätzung am Praxisbeispiel	315
4.6.1	Auswahl von Wirkungskategorien, -indikatoren und Charakterisierungsfaktoren	316
4.6.1.1	Treibhauspotenzial	318
4.6.1.2	Photooxidantienbildung	319
4.6.1.3	Eutrophierungspotenzial	320
4.6.1.4	Versauerungspotenzial	321
4.6.1.5	Ressourcenbeanspruchung	322
4.6.1.5.1	Energieressourcen	322
4.6.1.5.2	Flächennutzung bzw. Naturraumbeanspruchung	323
4.6.2	Klassifizierung	324
4.6.3	Charakterisierung	324
4.6.4	Normierung	331
4.6.5	Ordnung	336
4.6.6	Gewichtung	337
4.7	Literatur zu Kapitel 4	337

X | Inhaltsverzeichnis

<b>5</b>	<b>Auswertung, Berichterstattung und kritische Prüfung</b>	<b>355</b>
5.1	Entstehung und Stellenwert der Komponente Auswertung	355
5.2	Die Inhalte der Komponente Auswertung nach ISO	357
5.2.1	Auswertung in ISO 14040	357
5.2.2	Auswertung in ISO 14044	357
5.2.3	Identifizierung signifikanter Parameter	359
5.2.4	Beurteilung	360
5.3	Methoden der Ergebnisanalyse	361
5.3.1	Wissenschaftlicher Hintergrund	361
5.3.2	Mathematische Methoden	362
5.3.3	Nicht-numerische Verfahren	365
5.4	Berichterstattung	366
5.5	Kritische Prüfung	367
5.6	Illustration der Komponente Auswertung am Praxisbeispiel	370
5.7	Literatur zu Kapitel 5	379
<b>6</b>	<b>Von der Ökobilanz zur Nachhaltigkeitsanalyse</b>	<b>383</b>
6.1	Nachhaltigkeit	383
6.2	Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit	384
6.3	Entwicklungsstand der Methoden	387
6.3.1	Ökobilanz – LCA	387
6.3.2	Lebenszykluskostenrechnung – LCC	390
6.3.3	Produktbezogene Sozialbilanz – SLCA	392
6.4	Ein Life Cycle Assessment oder drei?	395
6.5	Schlussfolgerungen	396
6.6	Literatur zu Kapitel 6	397
	<b>Anhang 1 Lösungen zu den Übungen</b>	<b>401</b>
	<b>Anhang 2 Beispiel: Standardberichtsbogen zum Strommix Deutschland aus UBA 2000, Materialsammlung S. 179 ff.</b>	<b>407</b>
	<b>Liste der Akronyme</b>	<b>413</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>419</b>