

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Ausgangssituation .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Abfallnotstand .....   | 1         |
| 1.2 Abfallströme bei Produkten.....  | 2         |
| 1.3 Entsorgungsprobleme komplexer Produkte .....   | 3         |
| 1.4 End-of-pipe-Strategien.....  | 4         |
| 1.5 Grenzen traditioneller Recyclingwirtschaft .....                                     | 5         |
| <br>   |           |
| <b>2 Rechtliche Grundlagen .....</b>   | <b>8</b>  |
| 2.1 Entwicklung der Abfallgesetzgebung .....   | 8         |
| 2.2 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz.....  | 9         |
| 2.3 Elektronikschrott-Verordnung .....   | 15        |
| 2.4 Sonstige relevante Rechtsgrundlagen .....  | 18        |
| 2.4.1 TA Sonderabfall.....   | 18        |
| 2.4.2 TA Siedlungsabfall .....   | 20        |
| <br>   |           |
| <b>3 Entsorgungsproblematik von Fernsehgeräten .....</b>                                 | <b>21</b> |
| 3.1 Aufkommen in Deutschland.....  | 21        |
| 3.2 Aufbau und Problemfraktionen .....   | 23        |
| 3.2.1 Gehäuse/Rückwand.....  | 23        |
| 3.2.2 Leiterplatten .....  | 27        |
| 3.2.3 Elektronische Bauelemente .....  | 29        |
| 3.2.4 Bildröhre .....  | 29        |
| <br>   |           |
| <b>4 Ablagerungs- und Verbrennungsfähigkeit von gebrauchten<br/>Fernsehgeräten .....</b> | <b>32</b> |
| 4.1 Vorbemerkung.....  | 32        |
| 4.2 Deponierung .....  | 32        |
| 4.2.1 Deponierung von gebrauchten Fernsehern.....  | 33        |
| 4.3 Thermische Behandlung (Verbrennung, Pyrolyse) .....                                  | 35        |
| 4.3.1 Verbrennung von gebrauchten Fernsehern .....                                       | 37        |
| <br>   |           |
| <b>5 Elektronikschrott-Recycling: Möglichkeiten und Grenzen.....</b>                     | <b>39</b> |
| 5.1 Verfahren der Elektronikschrottverwertung .....                                      | 39        |
| 5.1.1 Allgemeine Verfahrensbeschreibung .....  | 39        |
| 5.1.2 Demontage.....   | 40        |
| 5.1.3 Maschinelle Aufbereitung .....   | 41        |
| 5.1.4 Sekundärrohstoffgewinnung.....   | 42        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.2 Das Verfahren der Schleswag Recycling GmbH .....                      | 44         |
| 5.3 Das Verfahren der Reichart-Dassler Elektronik<br>Recycling GmbH ..... | 46         |
| 5.4 Bildröhrenrecycling .....   | 48         |
| 5.4.1 Verfahrensbeschreibung Trockenverfahren .....                       | 49         |
| 5.4.2 Verfahrensbeschreibung Naßverfahren .....                           | 51         |
| 5.5 Grenzen des Elektronikschrottrecyclings .....                         | 52         |
| <b>6 Anforderungen an eine umweltfreundliche Produktgestaltung.....</b>   | <b>56</b>  |
| 6.1 Zielbestimmung und Begriffe .....                                     | 56         |
| 6.1.1 Zielhierarchie .....  | 56         |
| 6.1.2 Begriffe und Definitionen .....                                     | 57         |
| 6.2 VDI-Richtlinien zur Produktgestaltung .....                           | 60         |
| 6.3 Prinzipien und Kriterien .....  | 61         |
| <b>7 Konstruktion eines umweltfreundlicheren Farbfernsehgeräts.....</b>   | <b>65</b>  |
| 7.1 Problemanalyse .....  | 66         |
| 7.2 Ideenfindung .....  | 69         |
| 7.3 Prioritätensetzung .....  | 70         |
| 7.4 Entscheidungsfindung .....  | 70         |
| <b>8 Der umweltfreundlichere Prototyp.....</b>                            | <b>74</b>  |
| <b>9 Vergleich: Prototyp - Konventionelles Farbfernsehgerät.....</b>      | <b>78</b>  |
| 9.1 Kriterienauswahl und Vorbemerkungen .....                             | 78         |
| 9.2 Begriffsdefinitionen .....  | 80         |
| 9.3 Zieldefinition .....  | 82         |
| 9.3.1 Systembeschreibung .....  | 82         |
| 9.3.2 Beschreibung des Referenzmodells .....                              | 83         |
| 9.3.3 Stoffströme im Elektronikschrottreycling .....                      | 85         |
| 9.3.4 Lastmodule .....  | 88         |
| 9.3.5 Beschreibung der Lastmodule für das<br>Kunststoffrecycling .....    | 89         |
| 9.3.6 Beschreibung der Lastmodule für das Stahlrecycling .....            | 93         |
| 9.4 Wirkungsanalyse .....   | 100        |
| <b>10 Bewertung und Optimierungspotentiale .....</b>                      | <b>104</b> |
| 10.1 Schwachstellenanalyse und Optimierungsvorschläge .....               | 110        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>11 Logistikkonzepte zur Rücknahme und Verwertung von Fernsehgeräten</b> | <b>114</b> |
| <b>12 Fazit .....</b>  | <b>116</b> |
| <b>13 Anhang .....</b>   | <b>118</b> |
| 13.1 Elektronikschrott-Verordnung .....                                    | 118        |
| 13.2 Kreislaufwirtschaftsgesetz.....                                       | 124        |
| <b>14 Sachverzeichnis.....</b>   | <b>165</b> |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>166</b> |

# Abbildungsverzeichnis

|                       |  |    |
|-----------------------|--|----|
| <b>Abbildung 3.1.</b> | Anzahl der verkauften Farbfernseher, des Gerätebestandes und der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland ..... | 21 |
| <b>Abbildung 3.2.</b> | Anzahl der zu entsorgenden Altgeräte .....   | 22 |
| <b>Abbildung 3.3.</b> | Bromhaltige Flammschutzmittel.....   | 26 |
| <b>Abbildung 5.1.</b> | Allgemeine Vorgehensweise bei der Elektronikschrottverwertung.....   | 40 |
| <b>Abbildung 5.2.</b> | Mögliche Stoffströme bei der Zerlegung von Fernsehgeräten .....  | 42 |
| <b>Abbildung 5.3.</b> | Verfahrensschritte der physikalischen Zerkleinerung und Separierung des Schleswag-Verfahrens .....                 | 45 |
| <b>Abbildung 5.4.</b> | Verfahrensschema des Bildröhren-Recycling nach Züblin .....  | 50 |
| <b>Abbildung 5.5.</b> | Umweltauswirkungen des Recyclings von Elektronikschrott [nach Ewen] .....  | 53 |
| <b>Abbildung 6.1.</b> | Recyclingmöglichkeiten nach VDI-Richtlinie 2243.....   | 58 |
| <b>Abbildung 7.1.</b> | Entscheidungsdiagramm beim recycling-gerechten Konstruieren.....   | 66 |
| <b>Abbildung 7.2.</b> | Abfallmengen und Energieverbrauch für je drei Fernsehgehäuse (Stahl = 100%).....                                   | 72 |
| <b>Abbildung 8.1.</b> | Der entsorgungsfreundliche Fernseher von Loewe Opta .....  | 76 |
| <b>Abbildung 8.2.</b> | Elektronik aus Stahl, Aluminium und Keramik .....  | 77 |
| <b>Abbildung 9.1.</b> | Schema einer Ökobilanz.....  | 79 |
| <b>Abbildung 9.2.</b> | Stoffströme beim Elektronikschrott-recycling Concept 1700 .....  | 85 |

|                        |  |     |
|------------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 9.3.</b>  | Stoffströme beim Elektronikschrottrecycling Prototyp.....  | 87  |
| <b>Abbildung 9.4.</b>  | Lastmodule Kunststoffrecycling.....  | 89  |
| <b>Abbildung 9.5.</b>  | Prozeßschema Polystyrolherstellung .....   | 90  |
| <b>Abbildung 9.6.</b>  | Lastmodule Stahlrecycling.....   | 94  |
| <b>Abbildung 9.7.</b>  | Sachbilanzergebnisse Concept 1700 bei Deponierung des nicht verwertbaren Anteils.....                                      | 98  |
| <b>Abbildung 9.8.</b>  | Sachbilanzergebnisse Concept 1700 bei Verbrennung des nicht verwertbaren Kunststoffanteils.....                            | 99  |
| <b>Abbildung 9.9.</b>  | Sachbilanzergebnisse Prototyp.....   | 99  |
| <b>Abbildung 10.1.</b> | Vergleich der Sachbilanzergebnisse zwischen Prototyp und Concept 1700 bei Deponierung der nicht verwertbaren Anteile ..... | 106 |
| <b>Abbildung 10.2.</b> | Vergleich Sachbilanzergebnisse bei Verbrennung der nicht verwertbaren Kunststoffanteile .....                              | 107 |
| <b>Abbildung 10.3.</b> | Darstellung der Bewertungsergebnisse.....  | 109 |
| <b>Abbildung 10.4.</b> | Vergleich der Sachbilanzergebnisse mit einem optimierten Prototyp.....   | 111 |
| <b>Abbildung 10.5.</b> | Vergleich der Ergebnisse der Bilanzbewertung mit einem optimierten Prototyp.....   | 113 |

# Tabellenverzeichnis

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Tabelle 2.1.</b>  | Grundsätze der Kreislaufwirtschaft<br>(§ 4 KrW-/AbfG).....                                | 11  |
| <b>Tabelle 3.1.</b>  | Verkaufszahlen und Gerätebestand in der<br>Bundesrepublik Deutschland .....               | 22  |
| <b>Tabelle 3.2.</b>  | Prüfkriterien Underwriter Laboratories<br>Inc. (UL 94) .....                              | 24  |
| <b>Tabelle 3.3.</b>  | Zusammensetzung einer 63 cm Bildröhre<br>(Quelle: Züblin).....                            | 30  |
| <b>Tabelle 3.4.</b>  | Zusammensetzung Bildröhrenglas<br>(Quelle: Züblin).....                                   | 31  |
| <b>Tabelle 5.1.</b>  | Vorteile und Nachteile von Anlagen-<br>konzepten zum Bildröhrenrecycling .....            | 49  |
| <b>Tabelle 5.2.</b>  | Problemstoffe in komplexen Produkten.....   | 55  |
| <b>Tabelle 6.1.</b>  | Beispiele zum Recycling<br>(Quelle: VDI-Richtlinie 2243).....                             | 59  |
| <b>Tabelle 9.1.</b>  | Fraktionen nach dem Elektronikschrott-<br>recycling.....                                  | 88  |
| <b>Tabelle 9.2.</b>  | Daten Lastmodul Kunststoffherstellung .....   | 91  |
| <b>Tabelle 9.3.</b>  | Daten Lastmodul Kunststoffrecycling .....   | 92  |
| <b>Tabelle 9.4.</b>  | Daten Lastmodul Entsorgung .....  | 92  |
| <b>Tabelle 9.5.</b>  | Daten Lastmodul Roheisenherstellung.....  | 95  |
| <b>Tabelle 9.6.</b>  | Daten Lastmodul Feinblechherstellung .....  | 96  |
| <b>Tabelle 9.7.</b>  | Daten Lastmodul Stahlrecycling .....  | 97  |
| <b>Tabelle 9.8.</b>  | Zusammenstellung der quantitativen<br>Ergebnisse der Sachbilanz .....                     | 100 |
| <b>Tabelle 10.1.</b> | Tabellarischer Vergleich der Sachbilanz-<br>ergebnisse (incl. optimierter Prototyp) ..... | 112 |